

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENGGUNAAN ARANG BATOK KELAPA SEBAGAI *FILLER* TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN *HOT ROLLED SHEET-WEARING COURSE (HRS-WC)* (*THE EFFECT OF USING COCONUT SHELL CHARCOAL AS A FILLER ON THE CHARACTERISTICS OF THE HOT ROLLED SHEET- WEARING COURSE (HRS-WC)*)

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



**Diah Ayu Puspitaningrum
21511252**

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

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENGGUNAAN ARANG BATOK KELAPA SEBAGAI *FILLER* TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN *HOT ROLLED SHEET-WEARING COURSE (HRS-WC)* (*THE EFFECT OF USING COCONUT SHELL CHARCOAL AS A FILLER ON THE CHARACTERISTICS OF THE HOT ROLLED SHEET- WEARING COURSE (HRS-WC)*)

Disusun Oleh

Diah Ayu Puspitaningrum
21511252

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

Diuji pada tanggal 30 Oktober 2025

Oleh Dewan Penguji

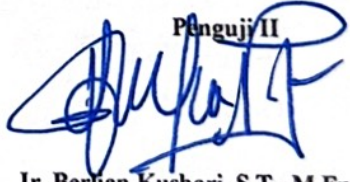
Pembimbing


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

Penguji I

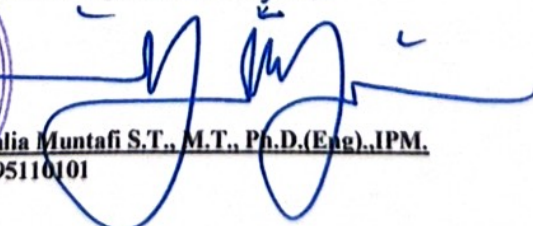

Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.
NIK : 955110103

Penguji II


Ir. Berlian Kushari, S.T., M.Eng., IPM,
ASEAN Eng.
NIK : 015110101



Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil


Ir. Yunalia Muntafi S.T., M.T., Ph.D.(Eng), IPM.
NIK : 095110101

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, 30 Oktober 2025

Yang membuat pernyataan



Diah Ayu Puspitaningrum

(21511252)

MOTTO

Menolong orang lain adalah seni menolong diri sendiri dikemudian hari.

KATA PENGANTAR

Asaalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan Rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Pengaruh Penggunaan Arang Batok Kelapa Sebagai *Filler* Terhadap Karakteristik Campuran *HRS-WC*. 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.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, atas bimbingan yang luar biasa, kesabaran, serta dukungan yang tiada henti selama penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini. Terima kasih atas kepercayaan dan kesempatan yang telah diberikan untuk berkembang.
2. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Penguji I Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu untuk menguji. Kritik dan saran yang diberikan telah banyak membantu dalam memperbaiki dan menyempurnakan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Berlian Kushari, S.T., M.Eng., IPM, ASEAN Eng. selaku Dosen Penguji II Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu untuk menguji. Kritik dan saran yang diberikan telah banyak membantu dalam memperbaiki dan menyempurnakan tugas akhir ini.
4. Ibu Ir. Yunalia Muntafi S.T., M.T., Ph.D. (Eng.), IPM. Selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

5. Bapak Sukamto HM, S.T. dan Mas Giri Widhiatmoko, S.T. selaku laboran Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII, yang telah membantu menyelesaikan penelitian.
 6. Kedua orang tua, Bapak Sumariyono dan Ibu Suharni serta keluarga, yang selalu memberikan motivasi semangat, do'a serta dukungan yang tulus dan tiada henti kepada penulis sehingga penulis bisa sampai pada titik ini. Terima kasih atas kesabaran, kasih sayang, dan segala pengorbanan yang telah diberikan selama ini.
 7. Rudi Setiawan, selaku kakak penulis yang selalu memberi dukungan, pengertian, dan motivasi selama penyusunan tugas akhir ini. Kebajikan yang diberikan dengan tiada henti membuat penulis terus berjuang hingga selesai.
 8. Ainaya Filza Jaunaa' Fasha, Alfina Aflah Aribah, Yuda Prabowo, Yafi Dzakia Muttaqin, Muhammad Firdaus Sani Wijaya Kusuma, Muhammad Nuzul Shalahuddin, Muhammad Fathan, Fika Risti, Ayu Aprillia Sustriyanti dan Rahma Syafitri yang sudah membantu dan memberikan dukungan dalam Tugas Akhir ini.
 9. Seluruh pihak yang sudah mendukung dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
- Saya memohon maaf apabila terdapat kesalahan penulisan dan sebagaimana. Saya berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun orang lain.

Yogyakarta, 30 Oktober 2025

Penulis



Diah Ayu Puspitaningrum

(21511252)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
MOTTO	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xv
ABSTRAK	xvii
<i>ABSTRACT</i>	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Masalah	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Tentang Penggunaan Batok Arang Kelapa	6
2.2 Penelitian Tentang Penggunaan <i>HRS</i> untuk Campuran Aspal	7
2.3 Perbandingan Penelitian	9
BAB III LANDASAN TEORI	14
3.1 Umum	14
3.2 Bahan Penyusun Perkerasan	15
3.2.1 Agregat	15
3.2.2 Aspal	16
3.2.3 Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)	18
	vii

3.3	Campuran <i>Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)</i>	18
3.4	Karakteristik Arang Batok Kelapa	20
3.5	Karakteristik Pengujian <i>Marshall Standart (MS)</i>	21
3.5.1	<i>Void In The Mix (VITM)</i>	22
3.5.2	<i>Void Filled With Asphalt (VFWA)</i>	22
3.5.3	<i>Void In Material Aggregate (VMA)</i>	23
3.5.4	Kepadatan (<i>Density</i>)	23
3.5.5	Stabilitas	24
3.5.6	Kelelehan (<i>Flow</i>)	24
3.5.7	<i>Marshall Quotient (MQ)</i>	24
3.6	<i>Index of Retained Strength (IRS)</i>	25
3.7	<i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	25
3.8	<i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i>	26
3.9	<i>Cantabro Loss (CL)</i>	27
BAB IV	METODE PENELITIAN	28
4.1	Metode Penelitian	28
4.2	Metode Pengambilan Sampel	28
4.3	Metode Pengambilan Data	29
4.4	Langkah-langkah Penelitian	29
4.4.1	Pemeriksaan Bahan	30
4.4.2	Persiapan Alat	31
4.4.3	Rencana Campuran <i>HRS-WC</i>	32
4.4.4	Jumlah Benda Uji	36
4.4.5	Pengujian <i>MS</i>	37
4.4.6	Pengujian <i>ITS</i>	39
4.4.7	Pengujian <i>TSR</i>	39
4.4.8	Pengujian <i>IRS</i>	40
4.4.9	Pengujian <i>CL</i>	41
4.5	Analisis Data	41
4.6	Bagan Alir Penelitian	43
BAB V	ANALISIS DAN PEMBAHASAN	45

5.1 Hasil Pengujian Karakteristik Material dan Campuran	45
5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	45
5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar	45
5.1.3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus	46
5.1.4 Hasil Pengujian Karakteristik <i>Filler</i> Clereng dan <i>Filler</i> Pengganti	46
5.2 Pembahasan	47
5.2.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	47
5.2.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar	48
5.2.3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus	49
5.2.4 Hasil Pengujian Karakteristik bahan Pengisi (<i>Filler</i>)	50
5.2.5 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Campuran untuk Menentukan KAO	51
5.2.6 Pembahasan Pengujian <i>MS</i> pada KAO dengan <i>Filler</i> AABK	59
5.2.7 Pembahasan Pengujian <i>IRS</i> pada KAO dengan <i>Filler</i> AABK	67
5.2.8 Pembahasan Pengujian <i>ITS</i> pada KAO dengan <i>Filler</i> AABK	70
5.2.9 Pembahasan Pengujian <i>TSR</i> pada KAO dengan <i>Filler</i> AABK	71
5.2.10 Pembahasan Pengujian <i>CL</i> pada KAO dengan <i>Filler</i> AABK	72
5.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian pada Campuran dengan Menggunakan <i>Filler</i> AABK	74
5.3.1 Rekapitulasi Pengujian Karakteristik Kekuatan Struktur dengan Substitusi <i>Filler</i> AABK	74
5.3.2 Rekapitulasi Pengujian Karakteristik Volumetrik dengan Substitusi <i>Filler</i> AABK	75
5.3.3 Rekapitulasi Pengujian Karakteristik Durabilitas dengan substitusi <i>Filler</i> AABK	76
5.3.4 Hasil Pembahasan Karakteristik Substitusi <i>Filler</i> AABK Terhadap Campuran <i>HRS-WC</i>	78
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	79
6.1 Kesimpulan	79
6.2 Saran	80

DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	84

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya	10
Tabel 3.1 Persyaratan Pemeriksaan Agregat Kasar	16
Tabel 3.2 Persyaratan Pemeriksaan Agregat Halus	16
Tabel 3.3 Persyaratan Aspal Keras	17
Tabel 3.4 Persyaratan <i>Filler</i>	18
Tabel 3.5 Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal	19
Tabel 4.1 Gradasi Agregat Campuran <i>HRS-WC</i> Bergradasi Senjang	33
Tabel 4.2 Kebutuhan Gradasi Agregat senjang untuk Kadar Aspal 6%	35
Tabel 4.3 Kebutuhan Gradasi Agregat senjang untuk Kadar Aspal 6,5%	35
Tabel 4.4 Kebutuhan Gradasi Agregat senjang untuk Kadar Aspal 7%	35
Tabel 4.5 Kebutuhan Gradasi Agregat senjang untuk Kadar Aspal 7,5%	36
Tabel 4.6 Kebutuhan Gradasi Agregat senjang untuk Kadar Aspal 8%	36
Tabel 4.7 Jumlah Benda Uji untuk Mencari Nilai KAO	37
Tabel 4.8 Jumlah Benda Uji untuk Tiap Pengujian pada KAO	37
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70	45
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar	46
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Agregat Halus	46
Tabel 5.4 Hasil Pengujian <i>Filler</i>	47
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Marshall <i>HRS-WC</i> Senjang	58
Tabel 5.6 Berat Abu Batu dan Berat Abu Arang Batok Kelapa	59
Tabel 5.7 Hasil Pengujian <i>Index of Retained Strength</i>	67
Tabel 5.8 Hasil Rekapitulasi Karakteristik Kekuatan Struktur pada Substitusi <i>Filler</i> AABK	74
Tabel 5.9 Hasil Rekapitulasi Karakteristik Volumetrik pada Substitusi <i>Filler</i> AABK	75
Tabel 5.10 Hasil Rekapitulasi Karakteristik Durabilitas pada Substitusi <i>Filler</i> AABK	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Grafik Gradasi Agregat Gabungan <i>WCT (Lataston HRS)</i>	19
Gambar 3.2 Grafik Gradasi Agregat Gabungan <i>BASE T (Lataston HRS)</i>	20
Gambar 3.3 Grafik Gradasi Agregat Gabungan <i>WCT (Laston AC)</i>	20
Gambar 3.4 Arang Batok Kelapa	21
Gambar 3.5 Abu Arang Batok Kelapa	21
Gambar 4.1 Grafik Agregat Rencana <i>HRS-WC</i> Gradasi Senjang	33
Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian	44
Gambar 5.1 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai Stabilitas	51
Gambar 5.2 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai <i>Flow</i>	52
Gambar 5.3 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai <i>MQ</i>	53
Gambar 5.4 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai <i>VITM</i>	54
Gambar 5.5 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai <i>VFWA</i>	55
Gambar 5.6 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai <i>VMA</i>	56
Gambar 5.7 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai <i>Density</i>	57
Gambar 5.8 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Substitusi <i>Filler</i> AABK	58
Gambar 5.9 Grafik Pengaruh AABK Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap Nilai Stabilitas	60
Gambar 5.10 Grafik Pengaruh AABK Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap Nilai <i>Flow</i>	61
Gambar 5.11 Grafik Pengaruh AABK Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap Nilai <i>MQ</i>	62
Gambar 5.12 Grafik Pengaruh AABK Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap Nilai <i>VITM</i>	63
Gambar 5.13 Grafik Pengaruh AABK Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap Nilai <i>VFWA</i>	64
Gambar 5.14 Grafik Pengaruh AABK Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap Nilai <i>VMA</i>	65

Gambar 5.15 Grafik Pengaruh AABK Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap Nilai <i>Density</i>	66
Gambar 5.16 Grafik Pengaruh AABK Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap <i>IRS</i>	68
Gambar 5.17 Grafik Nilai Pengaruh Kadar Aspal Terhadap <i>IRS</i>	69
Gambar 5.18 Grafik Pengaruh AABK Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap <i>ITS</i>	70
Gambar 5.19 Grafik Pengaruh AABK Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap <i>TSR</i>	71
Gambar 5.20 Grafik Pengaruh AABK Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap <i>CL</i>	73
Gambar 5.21 Grafik Kadar <i>Filler</i> Substitusi AABK Optimum pada Karakteristik Kekuatan Struktur	75
Gambar 5.22 Grafik Kadar <i>Filler</i> Substitusi AABK Optimum pada Karakteristik Volumetrik	76
Gambar 5.23 Grafik Kadar <i>Filler</i> Substitusi AABK Optimum pada Karakteristik Durabilitas	77

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70	85
Lampiran 2 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70	86
Lampiran 3 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70	87
Lampiran 4 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal	88
Lampiran 5 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70	89
Lampiran 6 Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam <i>TCE</i>	90
Lampiran 7 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	91
Lampiran 8 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	92
Lampiran 9 Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i>	93
Lampiran 10 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	94
Lampiran 11 Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	95
Lampiran 12 Pemeriksaan Berat Jenis <i>Filler</i> Debu	96
Lampiran 13 Pemeriksaan Berat Jenis <i>Filler</i> AABK	97
Lampiran 14 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> untuk KAO	98
Lampiran 15 Rekapitulasi <i>Marshall</i> untuk KAO	99
Lampiran 16 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Setelah KAO	100
Lampiran 17 Rekapitulasi <i>Marshall</i> Setelah KAO	101
Lampiran 18 Hasil Pengujian <i>IRS</i>	102
Lampiran 19 Rekapitulasi Pengujian <i>IRS</i>	103
Lampiran 20 Hasil Pengujian <i>ITS</i>	104
Lampiran 21 Hasil Pengujian <i>TSR</i>	105
Lampiran 22 Rekapitulasi Pengujian <i>ITS</i> dan <i>TSR</i>	106
Lampiran 23 Hasil Pengujian <i>CL</i>	107
Lampiran 24 Rekapitulasi Pengujian <i>CL</i>	108

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A_0	= Konstanta
A	= Persentase aspal terhadap batuan
AABK	= Abu Arang Batok Kelapa
<i>AC-BC</i>	= <i>Asphalt Concrete – Binder Course</i>
B	= Persentase aspal terhadap campuran
C	= Berat benda uji sebelum direndam (gr)
<i>CL</i>	= <i>Cantabro Loss</i>
D	= Berat benda uji dalam keadaan jenuh (SSD) (gr)
E	= Berat dalam air (gr)
F	= Volume (cm ³)
G	= Berat isi sampel (gr/cc)
H	= Berat jenis maksimum teoritis campuran
<i>HRS-WC</i>	= <i>Hot Rolled Sheet – Wearing Course</i>
<i>IRS</i>	= <i>Index of Retained Strength</i>
<i>ITS</i>	= <i>Indirect Tensile Strength</i>
KAO	= Kadar Aspal Optimum
L	= Persentase kehilangan berat (%)
m	= Nilai rongga terisi aspal (<i>VFWA</i>) (%)
M_0	= Berat sebelum abrasi (gr)
M_i	= Berat setelah abrasi (gr)
<i>MQ</i>	= <i>Marshall Quotient</i>
N	= Nilai rongga dalam campuran (<i>VITM</i>) (%)
Pb	= Kadar aspal persen terhadap berat total campuran
P_{runtuh}	= Beban puncak (kg)
P_s	= kadar agregat, persen terhadap berat total campuran
q	= Nilai Stabilitas (kg)
S	= Nilai stabilitas toleransi (kg)
S_1	= Stabilitas setelah direndam selama 0,5 jam

S_2	= Stabilitas setelah direndam selama 24 jam
SNI	= Standar Nasional Indonesia
<i>TSR</i>	= <i>Tensile Strength Ratio</i>
<i>VFWA</i>	= <i>Void Filled With Aggregate</i>
<i>VITM</i>	= <i>Void In The Mix</i>
<i>VMA</i>	= <i>Void in Mineral Aggregate</i>

ABSTRAK

Seiring dengan berkembangnya zaman, inovasi pada bidang infrastruktur khususnya pada bidang transportasi perlu dikembangkan. Pada bidang perkerasan jalan diperlukan kondisi jalan yang berkualitas demi kenyamanan dan keselamatan pengemudi. Sebagian besar infrastruktur di Indonesia menggunakan perkerasan lentur (*flexible pavement*) yaitu *Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS-WC)*. Akan tetapi dengan semakin meningkatnya kebutuhan material, diperlukan alternatif lain sebagai pengganti *filler*. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh pemanfaatan Abu Arang Batok Kelapa (AABK), yang terletak di Desa Gandulan, Kecamatan Kaloran, Kabupaten Temanggung, Provinsi Jawa Tengah, sebagai bahan pengganti *filler* dalam campuran *HRS-WC* terhadap karakteristik *MS*, *IRS*, *ITS*, *TSR*, dan *CL*.

Penelitian ini dilakukan dengan menentukan nilai KAO terlebih dahulu menggunakan metode *Marshall*. Setelah didapatkan nilai KAO kemudian melakukan pengujian dengan menggunakan substitusi *filler* AABK 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% untuk mendapatkan karakteristik mekanik, volumetrik, dan durabilitas yaitu melalui pengujian *Marshall*, *IRS*, *ITS*, *TSR* dan *CL*.

Hasil dari penelitian ini yaitu didapatkan penurunan pada nilai stabilitas campuran *HRS-WC* seiring bertambahnya kadar *filler* pengganti AABK kadar 0% yaitu (1148,85 kg) hingga kadar 100% (611,40 kg). Peningkatan *flow* terjadi pada kadar abu arang batok kelapa 0% (2,52 mm) hingga 100% (4,28 mm). Nilai *MQ* cenderung sama seperti stabilitas. Nilai *IRS* mengalami penurunan pada kadar *filler* pengganti 0% (93,70%) hingga 100% (85,35%), Nilai *ITS* dan *TSR* mengalami penurunan dari kadar 0% hingga kadar 100%. Nilai *CL* pada kadar *filler* pengganti abu arang batok kelapa mengalami kenaikan seiring penambahan kadar *filler* dari kadar 0% (2,20%) hingga kadar 100% (3,99%). Dalam campuran *HRS-WC* dengan *filler* AABK, kadar *filler* paling baik pada kadar 25% yaitu lebih menjaga stabilitas dan fleksibilitas dari campuran.

Kata Kunci: *Hot Rolled Sheet Asphalt*, bahan pengisi (*filler*), dan abu arang batok kelapa,

ABSTRACT

As time progresses, innovations in infrastructure, especially in the field of transportation, need to continue developing. In road pavement construction, high-quality road conditions are essential to ensure driver comfort and safety. Most infrastructure in Indonesia uses flexible pavement, namely Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS WC). However, with the increasing demand for materials, alternative substitutes for fillers are needed. Therefore, this study aims to examine the effect of utilizing Coconut Shell Charcoal Ash (AABK), sourced from Gandulan Village, Kaloran District, Temanggung Regency, Central Java Province, as a filler substitute in HRS WC mixtures on the characteristics of MS, IRS, ITS, TSR, and CL.

This research was conducted by first determining the Optimum Asphalt Content (KAO) using the Marshall method. After obtaining the KAO value, tests were carried out using AABK filler substitutions of 0%, 25%, 50%, 75%, and 100% to determine mechanical, volumetric, and durability characteristics through Marshall, IRS, ITS, TSR, and CL testing.

The results of this study showed a decrease in the stability value of the HRS WC mixture as the proportion of AABK filler increased, from 0% (1148,85 kg) to 100% (611,40 kg). The flow value increased from 0% (2,52 mm) to 100% (4,28 mm). The Marshall Quotient (MQ) value showed a similar trend to stability. The IRS value decreased from 0% (93,70%) to 100% (85,35%), and both the ITS and TSR values also decreased as the AABK filler percentage increased. Conversely, the CL value increased along with the increase in AABK filler content, from 0% (2,20%) to 100% (3,99%). In the HRS WC mixture with AABK filler, the most optimal filler content was found at 25%, as it best maintained both the stability and flexibility of the mixture.

Keywords: *Hot Rolled Sheet Asphalt, filler materials, and coconut shell charcoal ash,*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kerusakan jalan di Indonesia sering terjadi sebelum mencapai umur rencana yang ditetapkan (Dewi dkk, 2022). Seiring bertambahnya jumlah penduduk mengakibatkan mobilitas di suatu jalan juga mengalami penambahan beban kendaraan sehingga mempersingkat umur perkerasan jalan. Hal tersebut membuat kebutuhan kualitas dari suatu perkerasan jalan juga perlu dilakukan peningkatan serta evaluasi secara berkala. Perencanaan perkerasan jalan harus didasarkan pada beban lalu lintas rencana untuk meminimalisir adanya faktor kerusakan dari material bahan perkerasan. Seiring perkembangan zaman, aspal beton banyak mengalami perkembangan untuk memenuhi suatu fungsi dari perkerasan jalan. Produksi beton aspal di sektor konstruksi jalan sangat bergantung pada bahan konvensional seperti bitumen, granit, pasir, dan *filler* (Asebiomo dkk, 2024). Selain itu, tingginya konsumsi bahan baku di industri konstruksi berkontribusi terhadap kelangkaan bahan bangunan dan bahan untuk membangun jalan serta kerusakan lingkungan yang terkait. Maka dari itu, penelitian dengan bahan lain perlu dilakukan untuk mengetahui kualitas dari suatu alternatif material yang lebih ramah lingkungan, terjangkau, dan dapat diperbaharui.

Ada berbagai macam jenis lapis permukaan jalan di Indonesia, salah satunya yaitu *HRS (Hot Rolled Sheet)*. Lapis permukaan tersebut sering dikenal dengan Lapis Tipis Aspal Beton, yaitu lapis penutup yang dibuat dari agregat bergradasi timpang, *filler* dan juga aspal keras dengan suhu dan perbandingan tertentu yang dicampur, dihamparkan dan dipadatkan secara panas. Sebagai pengikat, campuran aspal ini akan digunakan pada jenis aspal penetrasi 60/70. Campuran aspal ini memiliki sifat lentur dan durabilitas yang tinggi, hal tersebut terjadi karena campuran *HRS* dengan gradasi timpang mempunyai rongga dalam campuran yang cukup besar, sehingga mampu menyerap jumlah aspal dalam jumlah banyak tanpa

terjadi *bleeding*. Selain itu, *HRS* juga mudah untuk dipadatkan sehingga lapisan yang dihasilkan mempunyai kedekatan terhadap air dan udara yang tinggi.

Hot Rolled Sheet (HRS) merupakan suatu jenis campuran aspal panas yang terdiri dari campuran agregat halus, agregat kasar, *filler* dan aspal (Gazaie dkk, 2023). *HRS* mempunyai susunan agregat dengan gradasi senjang, yang memiliki satu bagian fraksi yang tidak dimiliki dalam campuran. Sifat dari campuran aspal ini yaitu kedap terhadap air, tahan terhadap keausan lalu lintas, memiliki kekenyalan yang tinggi, mampu digunakan pada jalan dengan lalu lintas padat, tikungan tajam, perempatan jalan, dan daerah yang permukaan jalannya bisa menahan beban roda berat.

Dalam penelitian ini digunakan bahan berupa arang bubuk batok kelapa yang dipilih sebagai *filler* untuk suatu lapisan permukaan. Arang bubuk batok kelapa digunakan sebagai *filler* dalam pengujian ini dikarenakan limbah arang batok kelapa di wilayah Dusun Gandulan, Kecamatan Kaloran, Kabupaten Temanggung, Provinsi Jawa Tengah cukup banyak dan belum dimanfaatkan dengan baik. Hal ini terjadi dikarenakan pada wilayah tersebut banyak digunakan sebagai kebun pohon kelapa yang digunakan oleh petani untuk mata pencaharian. Selain itu kandungan arang batok kelapa juga memiliki kandungan yang tidak semua bahan lain yang digunakan sebagai *filler* memiliki kandungan tersebut. Dzulhadi, dkk (2022). menyatakan dalam penelitiannya bahwa pada umumnya nilai kalor yang terkandung dalam batok kelapa adalah berkisar antara 18200 hingga 19388,05 kJ/kg. Karbon aktif yang ada pada kandungan tersebut merupakan jenis karbon yang memiliki luas permukaan yang besar ($500 \text{ m}^2/\text{g}$). Hal tersebut didapatkan dengan proses pengaktifan karbon, yang dilakukan melalui proses kimia maupun fisik. Pengaktifan tersebut memiliki tujuan untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi karbon aktif. Penambahan arang batok kelapa terhadap campuran beraspal dapat meningkatkan nilai penetrasi dan menaikkan nilai titik lembek aspal. Hal ini dapat berarti penambahan arang batok kelapa dalam campuran perkerasan beton aspal kemungkinan berpotensi meningkatkan stabilitas dan durabilitasnya (Putri dkk, 2022). Keunggulan dari bubuk batok arang kelapa antara lain yaitu tahan terhadap benturan, daya serap, kelembaban permukaan, dan

pemanasan (Molvi dkk, 2023). Penambahan bubuk arang batok kelapa itu sendiri akan sangat mempengaruhi kuat tarik dan kuat lentur pada campuran *HRS* karena adanya ikatan antar partikel yang lebih kuat dalam suatu campuran tersebut dengan dapat meningkatkan kekuatan struktural tanpa mengurangi fleksibilitas aspal.

Proses pembuatan bubuk arang batok kelapa melibatkan pembakaran kerang kelapa yang kemudian dihancurkan sampai menjadi bubuk, kering dengan sinar matahari, dan difilter melalui saringan No. 200 (0,075 mm). Metode ini telah dilakukan sebelumnya pada jurnal penelitian Syukuriah dkk (2023). *Filler* merupakan mineral dari suatu agregat yang melewati angka sikat 200 (0.075 mm). Penambahan bubuk arang batok kelapa sebagai *filler* pada campuran dapat memperbaiki daya ikat serta stabilitas material. Metode yang digunakan dalam penelitian merupakan metode eksperimen, yaitu metode yang dilakukan dengan melaksanakan kegiatan pengujian di laboratorium untuk memperoleh data (A'yuni dkk, 2023). Penelitian ini melakukan pengujian terhadap karakteristik *filler* dan karakteristik *Marshall*.

Pengujian yang digunakan dalam pembuatan *filler* ini dilakukan dengan pengujian *Marshall* yang dilakukan sesuai dengan protokol Bina Marga 2018 Revisi 2. Pengujian ini dilakukan untuk mengidentifikasi perilaku dari kombinasi dan memastikan kestabilan atau ketahanan campuran aspal terhadap pencairan plastis (*flow*). Dalam pengujian yang dilakukan melalui tes Marshall tersebut akan menunjukkan grafik hubungan antara presentase kandungan aspal dan presentase kekosongan yang diisi dengan aspal atau *Void Filled With Asphalt (VFWA)*, Volume pori-pori antara partikel agregat dalam agregat mineral atau *Void In Mineral Agreggate (VMA)*, volume pori yang tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan atau *Void In The Mix (VITM)*, kepadatan, stabilitas, *Marshall Quuotient (MQ)*, *Immersion Test (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)* dan *Cantabro Loss (CL)* . Selain itu juga dilakukan pengujian material lainnya berupa pengujian agregat halus, agregat kasar, dan juga pengujian gradasi campuran. Pengujian tersebut dilakukan agar campuran menjadi homogen dan mempunyai susunan butiran sesuai dengan spesifikasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh penggunaan limbah arang batok kelapa sebagai pengganti *filler* terhadap karakteristik kekuatan struktur pada campuran *HRS-WC*?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan limbah arang batok kelapa sebagai pengganti *filler* terhadap karakteristik volumetrik pada campuran *HRS-WC*?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan limbah arang batok kelapa sebagai pengganti *filler* terhadap karakteristik durabilitas pada campuran *HRS-WC*?

1.3 Tujuan Masalah

Berdasarkan masalah yang telah dirumuskan, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh penggunaan limbah arang batok kelapa sebagai pengganti *filler* terhadap karakteristik kekuatan struktur pada campuran *HRS-WC*.
2. Mengetahui pengaruh penggunaan limbah arang batok kelapa sebagai pengganti *filler* terhadap karakteristik volumetrik pada campuran *HRS-WC*.
3. Mengetahui pengaruh penggunaan limbah arang batok kelapa sebagai pengganti *filler* terhadap karakteristik durabilitas pada campuran *HRS-WC*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat memberikan dan mempunyai manfaat sebagai berikut.

1. Mendapatkan *filler* alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan pengisi yang umum ditemukan.
2. Meningkatkan nilai guna pada limbah batok kelapa.
3. Mengembangkan serta meningkatkan kualitas suatu bahan yang digunakan sebagai *filler* pada suatu perkerasan.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Penelitian yang dilakukan berdasarkan pedoman dari spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2.
2. Penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Universitas Islam Indonesia.
3. Agregat kasar dan agregat halus diperoleh dari Laboratorium Jalan Raya Universitas Islam Indonesia.
4. Variasi kadar aspal yang digunakan adalah 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, dan 8%.
5. *Filler* yang digunakan adalah Abu Arang Batok Kelapa (AABK) dengan kadar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% yang lolos pada saringan no.200.
6. *Filler* yang digunakan sebagai pembanding adalah arang batok kelapa pada olahan industri yang berasal dari Temanggung, Jawa Tengah.
7. Tinjauan pengujian terhadap kekuatan struktur berdasarkan stabilitas, *flow*, *MS*, *ITS*, dan *CL*.
8. Tinjauan pengujian terhadap karakteristik volumetrik campuran aspal berdasarkan *density*, *VITM*, *VFWA*, dan *VMA*.
9. Tinjauan pengujian terhadap durabilitas campuran aspal berdasarkan *IRS* dan *TSR*.
10. Pengujian yang digunakan adalah dengan menggunakan aspal penetrasi 60/70.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Tentang Penggunaan Batok Arang Kelapa

Dzulhadi, dkk (2022) telah melakukan penelitian menggunakan limbah arang tempurung kelapa sebagai bahan tambah pada aspal untuk campuran *Split Mastic Asphalt*. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui nilai karakteristik dari campuran aspal yang dihasilkan menggunakan bahan tambah berupa arang batok kelapa. Dari penelitian tersebut diperoleh beberapa besaran kadar aspal yang dilakukan dengan sampel menggunakan arang tempurung kelapa berkisar pada 0%, 3%, 6%, dan 9 %. Dari penggunaan kandungan arang tempurung kelapa tersebut menggunakan kadar aspal yang bervariasi dengan masing-masing menggunakan pengujian dengan suhu perendaman 60° C dan menggunakan benda uji 3 buah yang dihitung secara keseluruhan memiliki total benda uji 12 buah. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa Kadar Aspal (KAO) yang berada pada campuran arang tempurung kelapa 0%, 3%, 6%, dan 9 % meningkat. Dengan hasil nilai KAO pada 0% yaitu sebesar 6%, untuk campuran arang kelapa 3 % sebesar 6,1 %, untuk campuran arang kelapa 6% sebesar 6,25% dan untuk campuran kelapa 9 % yaitu sebesar 6,4%. Kesimpulan dari penelitian yang dilakukan ini disimpulkan bahwa penambahan arang tempurung kelapa dalam campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* akan berpengaruh pada nilai stabilitas yang akan semakin meningkat, hal tersebut dikarenakan arang dari limbah tempurung kelapa mempengaruhi nilai dari penetrasi aspal.

Syukuriah, dkk (2023) melakukan penelitian dengan menggunakan serbuk arang tempurung kelapa sebagai bahan pengisi (*filler*) terhadap karakteristik laston *AC-WC*. Penelitian tersebut bertujuan untuk mencoba menggunakan sampah bulu kelapa, yang menurut para peneliti adalah lebih praktis dari bensin. Selain itu, diperkirakan bahwa penggunaan kulit kelapa akan meningkatkan kondisi ekonomi masyarakat dan mengurangi dampak degradasi lingkungan. Kesimpulan yang dihasilkan dari penelitian tersebut yaitu persentase aspal yang ideal adalah 5,55%.

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*, *VITM*, *VFWA*, *Stability*, *Flow*, *MQ*, telah memenuhi sesuai spesifikasi Bina Marga. Diperkirakan bahwa studi tambahan akan menggunakan metode pembakaran di oven untuk menghasilkan jumlah abu yang lebih besar dan mempercepat proses pemotongan dalam proses produksi tempurung kelapa.

A'yuni dan Widayanti (2023) melakukan penelitian menggunakan abu tempurung kelapa sebagai bahan pengisi (*filler*) pada campuran aspal lapis *AC-WC* (*Asphalt Concrete – Wearing Course*). Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui karakteristik material *filler* Abu Tempurung Kelapa, agregat, aspal dan mengetahui karakteristik campuran perkerasan dengan *filler* tempurung kelapa yang diaplikasikan pada lapisan *AC-WC* dengan menggunakan pengujian *marshall*. Dengan penelitian yang telah dilakukan tersebut memiliki *volumetric* yaitu hasil pengujian material agregat, aspal dan tempurung kelapa yang digunakan sebagai *filler* layak dan memenuhi kualitas campuran pada lapisan *AC-WC*. KAO sebesar 6,3% yang dihasilkan berdasarkan penambahan *filler* sebesar 3,5%, sedangkan KAO yang dihasilkan sebesar 5,9% berdasarkan penambahan *filler* sebesar 4%. Campuran laston lapis *AC-WC* yang ditambahkan abu tempurung kelapa sebesar 3,5% serta kadar aspal 6,3% menghasilkan campuran yang baik dan campuran *AC-WC* lebih kuat dan stabil.

2.2 Penelitian Tentang Penggunaan HRS untuk Campuran Aspal

Trisniati, dkk (2023) melakukan penelitian dengan menggunakan pasir bekas tambang sebagai bahan pengisi (*filler*) pada campuran *HRS Base*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai kadar aspal atau campuran *HRS Base* apabila *filler* yang digunakan pada campuran merupakan pasir bekas tambang. Selain itu, manfaat dari penelitian ini yaitu untuk menambah pengetahuan mengenai bahan *filler* pada campuran *HRS Base* yang dimana bahannya merupakan material yang berada di daerah penulis tinggal. Hasil yang didapatkan dari pengujian ini yaitu penggunaan pasir sebagai bahan pengisi (*filler*) sangat dipengaruhi oleh

butiran pasir. Pengujian Marshall yang dilakukan dengan parameter yang diuji merupakan rongga terisi aspal (*VFWA*), rongga dalam campuran (*VITM*), rongga dalam agregat (*VMA*), *Stabilitas Marshall*, kelelahan (*flow*), dan *Marshall Quotient*. Maka dari hasil pengujian yang telah dilakukan tersebut, dapat disimpulkan bahwa pasir bekas tambang yang dapat digunakan sebagai bahan *filler* pada campuran dengan kadar aspal 7% dan 8% merupakan pasir bekas tambang dari Sungai Sintuk Desa Sei Kapitan dan Desa Sungai Bakau. Sedangkan untuk pasir bekas tambang dari Desa Kumpai Batu Atas dapat digunakan pada campuran dengan kadar aspal yaitu 8%.

Gazalie, dkk (2023) melakukan penelitian dengan menggunakan limbah abu batu bara sebagai *filler* pada laston lapis aus (*HRS-WC*). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pemakaian limbah abu batu bara, dalam hal ini yaitu limbah *bottom ash* sebagai *filler* pada campuran aspal terhadap sifat campuran aspal pada Laston Lapis Aus (*HRS-WC*). Hasil dari penelitian ini adalah pengaruh dari limbah batu bara sebagai *filler* pada campuran aspal Laston Lapis Aus (*HRS-WC*) dengan kadar aspal optimum sebesar 6,90% pada proporsi agregat tertentu diperoleh nilai kadar aspal efektif sebesar 6,20% ; *VITM* sebesar 3,758%; *VMA* sebesar 17,325%; *VFWA* sebesar 78,421%; Stabilitas Marshall 876,991 Kg dan *Marshall Quotient* sebesar 269,209 Kg/mm . Dari nilai yang diperoleh tersebut telah memenuhi syarat pada spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan Revisi 2.

Kalangie, dkk (2024) melakukan penelitian dengan menganalisis campuran *fly ash* dan *bottom ash* batu bara sebagai *filler* pada campuran beraspal panas jenis lapis tipis aspal beton – *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik *marshall* pada campuran *HRS-WC* dengan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai pengganti *filler*. Selain itu juga untuk mengetahui apakah campuran limbah *fly ash* pada *filler* dapat memenuhi standar. Penambahan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai *filler* pada penelitian ini menggunakan kadar variasi 25%, 50%, 75%, dan 100% terhadap berat *filler* dengan menggunakan kadar aspal optimum (KAO) sebesar 7,45%. Hasil dari penelitian tersebut yaitu penambahan campuran *fly ash* pada campuran beraspal laston *HRS-WC*

mempengaruhi stabilitas aspal dimana *fly ash* membuat nilai stabilitas mengalami penurunan sehingga menunjukkan jika penambahan *fly ash* pada campuran tidak menambah ketahanan campuran, sedangkan untuk campuran dengan *bottom ash* memiliki angka yang signifikan stabil dengan rangenya hanya mengalami penurunan di campuran 10% dan 50%. Campuran *HRS-WC* dengan penambahan *bottom ash* cenderung memiliki kerapatan yang lebih baik dibandingkan dengan *fly ash* dikarenakan *bottom* memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan *fly ash*.

2.3 Perbandingan Penelitian

Arang batok kelapa merupakan limbah yang memiliki sifat keras karena merupakan bagian luar dari buah kelapa. Ketersediaan batok kelapa tersebut memiliki jumlah bahan yang cukup banyak untuk memenuhi kebutuhan konstruksi. Maka dari itu dibutuhkan alternatif baru guna memenuhi nilai tambah dari bahan yang ada untuk kebutuhan konstruksi. Salah satunya penggantian *filler* pada campuran perkerasan aspal. Dalam penelitian ini menggunakan arang batok kelapa sebagai pengganti *filler*. Alasan penulis melakukan penelitian ini yaitu untuk melakukan alternatif lain sebagai bahan ganti *filler*. Faktor pemicu lainnya yaitu dikarenakan banyak ditemukan limbah batok kelapa yang berada pada kota asal penulis.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh limbah arang batok kelapa yang akan digunakan sebagai *filler* pada campuran *HRS*, untuk mengetahui nilai KAO (Kadar Aspal Optimum) pada karakteristik nilai uji *Marshall*. Adapun persamaan dan perbedaan dengan penelitian ini dengan penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

No.	Aspek	Dzulhadi, dkk (2022)	A'yuni dan Widayanti (2023)	Gazalie, dkk (2023)	Trisniati, dkk (2023)	Molvi, dkk (2022)	Asebiomo, dkk (2024)	Puspitaningrum dan Hadi (2025)
1.	Judul	Kajian Penelitian Limbah Arang Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Tambah Pada Aspal Untuk Campuran <i>Split Matic Asphalt</i>	Pemanfaatan Abu Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Pengisi (<i>Filler</i>) pada Campuran Aspal Lapis <i>AC-WC</i> (<i>Asphalt Concrete- Wearing Course</i>)	Pemanfaatan Limbah Abu Batu Bara Sebagai <i>Filler</i> Pada Lataston Lapis Aus (<i>HRS-WC</i>)	Penggunaan Pasir Bekas Tambang Sebagai Bahan Pengisi (<i>Filler</i>) Pada Campuran <i>HRS Base</i>	<i>Experimental Investigation of Coconut Shell Charcoal Ash in Bituminous Concrete</i>	<i>Performance evaluation of coconut fiber ash as mineral filler in asphalt mixture</i>	Pengaruh Penggunaan Arang Batok Kelapa Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Campuran <i>HRS</i>
2.	Jenis Campuran	<i>SMA (Stone Mastic Asphalt)</i>	<i>AC-WC (Asphalt Concrete - Wearing Course)</i>	<i>Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS- WC)</i>	<i>Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base)</i>	<i>Asphalt- Concrete – Binder Course</i>	<i>Asphalt-Concrete</i>	<i>Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)</i>
3.	Jenis Aspal	Aspal Pertamina pen 60/70	Aspal Pertamina pen 60/70	Aspal Pertamina pen 60/70	Aspal Pertamina pen 60/70	<i>VG30 grade of bitumen</i>	<i>bitumen grade 60/70</i>	Aspal Pertamina pen 60/70

Sumber : Dzulhadi (2022), A'yuni (2023), Gazalie (2023) , Trisniati (2023), Molvi (2022), Asebiomo (2024), Puspitaningrum dan Hadi (2025)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

No.	Aspek	Dzulhadi, dkk (2022)	A'yuni dan Widayanti (2023)	Gazalie, dkk (2023)	Trisniati, dkk (2023)	Molvi, dkk (2022)	Asebiomo, dkk (2024)	Puspitaningrum dan Hadi (2025)
4.	<i>Filler</i>	Limbah Abu Tempurung Kelapa	Limbah Abu Tempurung Kelapa	Limbah Batu Abu Bara	Pasir Bekas Tambang	<i>Fly Ash, Stone Dust</i> , abu arang batok kelapa dan semen	Abu arang batok kelapa	Limbah Abu Arang Batok Kelapa
5.	Metode Penelitian	Metode <i>Marshall</i> dengan standar ASTM D97 Tahun 2013	Parameter <i>Marshall</i> diantaranya yaitu, stabilitas, kelelehan, <i>VITM</i> (<i>Void In the Mix</i>), <i>VMA</i> (<i>Void In Mineral Agregate</i>), <i>VFWA</i> (<i>Void Filled with Asphalt</i>), dan <i>MQ</i> (<i>Marshall Quotient</i>)	Parameter <i>Marshall</i> Aspal dengan <i>Bottom Ash</i>	<i>Parameter Marshall</i> yaitu, <i>stabilitas</i> , <i>kelelehan</i> , <i>VITM</i> (<i>Void In the Mix</i>), <i>VMA</i> (<i>Void In Mineral Agregate</i>), <i>VFWA</i> (<i>Void Filled with Asphalt</i>), dan <i>MQ</i> (<i>Marshall Quotient</i>)	<i>Marshall Stability Test</i> , diantaranya yaitu <i>Stability</i> , <i>Flow Value</i> , <i>Air Voids</i> , dan <i>VMA</i> (<i>Void In Mineral</i>)	<i>Marshall Test</i> , <i>Volumetric Analysis</i> , <i>Specific Gravity</i> , <i>Penetration</i> , <i>Ductility</i> , <i>Aggregate Impact Test</i> , <i>Aggregate Crushing Test</i> , dan <i>Flakiness Test</i>	<i>Marshall standart (MS)</i> , <i>Index of Retained Strength (IRS)</i> , <i>Indirect Tensile Strength Test (ITS)</i> , <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i> , dan <i>Cantabro Loss (CL)</i>

Sumber : Dzulhadi (2022), A'yuni (2023), Gazalie (2023) , Trisniati (2023), Molvi (2022), Asebiomo (2024), Puspitaningrum dan Hadi (2025)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

No.	Aspek	Dzulhadi, dkk (2022)	A'yuni dan Widayanti (2023)	Gazalie, dkk (2023)	Trisniati, dkk (2023)	Molvi, dkk (2022)	Asebiomo, dkk (2024)	Puspitaningrum dan Hadi (2025)
6.	Hasil Penelitian	Semakin tinggi kadar arang tempurung kelapa dalam campuran Split <i>Mastic Asphalt (SMA)</i> maka akan berpengaruh pada nilai stabilitas yang akan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan arang tempurung kelapa yang ditambahkan	Campuran laston lapis AC-WC dengan abu tempurung kelapa sebanyak 3,5% dan kadar aspal 6,3% menghasilkan campuran yang lebih baik. Hal ini dikarenakan penggunaan aspal lebih banyak, ikatan antara agregat dan filler semakin baik, campuran	Pengaruh penambahan limbah abu batu bara sebagai filler pada campuran aspal (<i>HRS-WC</i>) dengan nilai <i>KAO</i> sebesar 6,90% pada proporsi agregat yang digunakan diperoleh nilai kadar aspal efektif yaitu 6,20%; <i>VITM</i> sebesar 3,758% ; <i>VMA</i> sebesar	Penggunaan pasir sebagai bahan pengisi (<i>filler</i>) sangat bergantung pada ukuran butiran pasir. Pasir bekas tambang yang dapat digunakan sebagai bahan <i>filler</i> pada campuran dengan kadar aspal 7% dan 8% merupakan pasir bekas	Dengan meningkatnya penggunaan pengisi dalam sampel Marshall, voids dalam mineral (<i>VMA</i>) berkurang. Berdasarkan hasil uji yang dilakukan pada 12olumetr, dapat disimpulkan bahwa abu arang tempurung	Nilai stabilitas meningkat secara signifikan akibat penggantian debu kelapa dengan abu serat kelapa . Jika dibandingkan dengan campuran debu batu konvensional , abu serat kelapa meningkatkan stabilitas sebesar 26,3%. Namun, campuran abu serat kelapa menghasilkan nilai stabilitas	Semakin tinggi kadar arang tempurung kelapa yang digunakan sebagai <i>filler</i> dalam campuran <i>HRS-WC</i> akan berpengaruh pada nilai stabilitas yang semakin turun dari kadar 0% (1148,85 kg) hingga kadar 100% (611,40 kg). <i>Flow</i> naik seiring bertambahnya <i>filler</i> , stabilitas dan <i>flow</i> yang seimbang sehingga

Sumber : Dzulhadi (2022), A'yuni (2023), Gazalie (2023) , Trisniati (2023), Molvi (2022), Asebiomo (2024), Puspitaningrum dan Hadi (2025)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

No.	Aspek	Dzulhadi, dkk (2022)	A'yuni dan Widayanti (2023)	Gazalie, dkk (2023)	Trisniati, dkk (2023)	Molvi, dkk (2022)	Asebiomo, dkk (2024)	Puspitaningrum dan Hadi (2025)
		sebagai filler berpengaruh terhadap nilai penetrasi pada suatu aspal.	<i>AC-WC</i> lebih kuat dan stabil.	17,325%; <i>VFWA</i> sebesar 78,421%; Stabilitas <i>Marshall</i> 876,991 Kg dan <i>Marshall</i> <i>Quotient</i> sebesar 269,209 Kg/mm,	tambang yang berasal dari Sungai Sintuk Desa Sei Kapitan dan Desa Sungai Bakau. Sedangkan pasir bekas tambang dari Desa Kumpai Batu Atas yang dapat digunakan pada campuran dengan kadar aspal yaitu 8%.	kelapa sebagai pengisi dapat dimanfaatkan karena sifat pengisinya yang memenuhi semua persyaratan.	yang melebihi spesifikasi AASHTO dengan persyaratan minimum 7,5 kN. Selain itu, berdasarkan spesifikasi <i>AASHTO</i> , parameter <i>volumetric</i> , <i>VMA</i> , dan <i>VFWA</i> memenuhi persyaratan.	lebih tahan retak. Sementara <i>IRS</i> menurun hingga kadar 100% dan hanya pada kadar 0% dan 25% yang memenuhi spesifikasi Bina Marga (>90%). <i>ITS</i> terus menurun hingga 139,34 kPa. Sedangkan nilai <i>CL</i> naik hingga 3,99%.

Sumber : Dzulhadi (2022), A'yuni (2023), Gazalie (2023) , Trisniati (2023), Molvi (2022), Asebiomo (2024), Puspitaningrum dan Hadi (2025)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Perkerasan jalan merupakan lapisan konstruksi yang berada di atas tanah dasar (*sub-grade*). Tujuan dari adanya perkerasan jalan ini yaitu untuk menerima dan menahan beban lalu lintas secara langsung. Perkerasan jalan yang baik diperlukan adanya ketahanan dan keawetan infrastruktur jalan dan juga meningkatkan kenyamanan bagi pengguna jalan. Selain itu, perkerasan jalan harus dirancang dengan mengacu pada standar yang ada agar dapat menahan beban kendaraan yang melintas serta faktor eksternal lain seperti cuaca dan iklim.

Menurut Hardiyatmo (2011) ada beberapa tipikal perkerasan yang biasa digunakan dan dipilih dengan pertimbangan yang ada. Tipe perkerasan yang banyak digunakan sebagai berikut.

1. Perkerasan lentur (*flexible pavement*)

Perkerasan lentur umumnya terdiri dari lapis permukaan aspal yang berada di atas lapis fondasi dan lapis fondasi bawah yang dihamparkan di atas tanah dasar.

2. Perkerasan kaku (*rigid pavement*)

Perkerasan kaku atau yang biasa disebut perkerasan beton (*concrete pavement*). Perkerasan ini terdiri dari tanah dasar, lapis fondasi bawah dan pelat beton semen Portland.

3. Perkerasan komposit (*composite pavement*)

Perkerasan komposit merupakan perkerasan gabungan antara perkerasan beton semen *portland* dan perkerasan aspal. Perkerasan aspal terletak di atas perkerasan beton semen *portland*.

4. Jalan Tak diperkeras (*unpaved road*)

Jalan Tak diperkeras merupakan permukaan jalan berupa lapisan kerikil yang dihampar dan dipadatkan di atas tanah-dasar. Jalan tipe ini digunakan untuk volume lalu-lintas yang cenderung kecil.

3.2 Bahan Penyusun Perkerasan

3.2.1 Agregat

Agregat merupakan butir-butir yang dapat terdiri dari batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lain yang berasal dari alam maupun buatan dengan ukuran besar atau kecil. Kandungan agregat yang digunakan pada suatu lapisan perkerasan jalan yaitu 90-95% berdasarkan dari persenan berat atau 75-85% berdasarkan pada persenan volume. Berdasarkan pada ukuran butiran, agregat dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga), yaitu agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*). Pada pengujian agregat kasar di Laboratorium bertujuan untuk mengidentifikasi berat jenis (*Bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*saturater surface dry*) SSD, berat jenis semu (*apparent*), penyerapan agregat kasar dan halus, analisa saringan, serta abrasi. Sedangkan untuk pengujian agregat halus dilakukan untuk mengetahui nilai dari berat jenis dan penyerapan. Bahan pengisi menggunakan abu arang batok kelapa yang melewati angka sikat 200 (0,075 mm). Pemilihan agregat yang digunakan harus bersih dari kotoran dan bahan-bahan lain yang mengganggu agar agregat yang dicampurkan dapat bekerja secara optimal.

Molvi (2022) menyatakan bahwa agregat kasar merupakan batu pecah tidak beraturan atau batu kerikil yang ditemukan secara alami untuk proses pembuatan beton. Ukuran dari agregat kasar yaitu batu pecah yang lolos saringan 19 mm dan tertahan di saringan 4,75 mm. Sedangkan agregat halus yaitu bahan pengisi dengan ukuran partikel lebih kecil untuk digunakan dalam konstruksi jalan yang lolos saringan 4,75 mm dan tertahan di saringan 0,75 mm. Dalam konstruksi jalan, agregat halus harus mengisi rongga di antara agregat kasar.

Spesifikasi Umum Bina Marga (2018) membedakan agregat menjadi tiga sebagai berikut ini.

1. Agregat kasar, yaitu agregat yang tertahan saringan No.4 (=4,75 mm).
2. Agregat halus, yaitu agregat yang lolos saringan No.4 (=4,75 mm).
3. Bahan pengisi (*Filler*), yaitu agregat halus yang minimum 75% lolos saringan No. 200 (=0,75mm).

Persyaratan agregat kasar dan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berikut :

Tabel 3.1 Persyaratan Pemeriksaan Agregat Kasar

Pengujian			Metoda Pengujian	Syarat (%)
Abrasi dengan mesin Los Angeles (%)	Campuran <i>AC</i> Modifikasi dan <i>SMA</i>	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 6
		500 putaran		Maks. 30
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran		Maks. 8
		500 putaran		Maks. 40
Kelekatan agregat terhadap aspal			SNI 2439:2011	Min. 95
Kekekalan agregat terhadap aspal		<i>natrium sulfat</i>	SNI 3407:2008	Maks. 12
		<i>magnesium sulfat</i>		Maks.18
Butir pecah pada agregat kasar		<i>SMA</i>	SNI 7619:2012	100/95
		Lainnya		95/90
Partikel pipih dan lonjong		<i>SMA</i>	ASTM D4791-10 Perbandingan 1:5	Maks. 5
		Lainnya		Maks. 10

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (Revisi 2, 2018)

Tabel 3.2 Persyaratan Pemeriksaan Agregat Halus

No	Pengujian	Standar	Syarat
1	Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 60%
2	Uji kadar rongga tanpa pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45%
3	Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
4	Agregat lolos ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (Revisi 2, 2018)

3.2.2 Aspal

Aspal merupakan material termoplastik pada temperatur ruang berbentuk padat, apabila dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal akan berubah menjadi lunak atau cair, dan apabila temperaturnya mulai menurun aspal tersebut selain akan mengeras juga dapat mengikat agregat pada tempatnya. Aspal adalah material pembentuk campuran perkerasan yang berkisar antara 4-10% berdasarkan pada berat campuran total, atau 10-15% berdasarkan volume campuran total (Serevina dkk, 2024).

Secara umum, aspal dibagi menjadi dua jenis, yaitu aspal alam dan aspal buatan.

1. Aspal alam

Aspal alam merupakan aspal yang tersedia secara alami yang terbentuk melalui proses geologi selama jutaan tahun. Aspal tersebut berbentuk deposit atau batuan yang mengandung bitumen. Di Indonesia, aspal alam terletak di pulau Buton atau juga dapat dikenal sebagai Aspal Buton.

2. Aspal buatan

Aspal buatan atau aspal minyak merupakan bahan pengikat yang umum digunakan dalam perkerasan lentur. Aspal yang merupakan suatu produk dari penyulingan minyak bumi dan memiliki sifat viskoelastis yang memungkinkannya mengikat agregat menjadi lapisan perkerasan yang solid.

Dalam Penelitian ini, peneliti menggunakan aspal pen 60/70. Saat digunakan sebagai lapisan perkerasan, aspal pen 60/70 memberikan fondasi yang stabil untuk jalan dan dapat menahan tekanan lalu lintas serta kondisi cuaca ekstrem. Berikut merupakan persyaratan aspal pen 60/70 yang dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Persyaratan Aspal Keras

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Aspal Pen. 60/70
1	Penetrasi pada 25°C (0,1mm)	SNI 2456:2011	55-68
2	Viskositas Kinematis 135 °C (cSt)	ASTM D2170-10	< 3000
3	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 49
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 2441:2011	≥ 1
8	Stabilitas Penyimpanan : Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	< 2,2
9	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	< 2
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002)			
10	Berat yang Hilang (5)	SNI 06-2441-1991	0,8
11	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54
12	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (Revisi 2, 2018)

3.2.3 Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi (*filler*) merupakan material berbutir halus yang lolos pada saringan no. 200 (0,075 mm), dapat terdiri dari debu batu, kapur padam, semen *portland*, atau bahan non-plastis lainnya. Bahan pengisi ini berguna dalam meningkatkan kepadatan dan stabilitas campuran, mengurangi jumlah rongga udara pada campuran dan menambah titik kontak jumlah butiran. Berdasarkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga (2018) Revisi 2 persentase *filler* untuk gradasi gabungan campuran pada *HRS-WC* adalah minimal 6% dan maksimal 10% dari berat total agregat. Bahan pengisi *filler* yang digunakan berupa bahan batok kelapa harus dibuat sesuai dengan prosedur yang ada, dengan melalui proses pembakaran arang dan penumbukannya dilakukan dengan benar.

Pada penelitian ini, peneliti akan menggunakan limbah arang batok kelapa sebagai bahan pengganti (*filler*) pada campuran *HRS-WC*. Limbah batok kelapa yang digunakan diambil dari limbah yang telah dihancurkan setelah melalui proses pembakaran. Di Indonesia, *filler* abu arang batok kelapa tersedia dalam skala besar dan berkelanjutan karena menjadi produk samping rutin industri arang–briket yang terkonsentrasi di Sumatera, Jawa, Sulawesi, dan Nusa Tenggara. Pasokan batok didukung jaringan bahan baku lokal dan antar pulau. Secara teknis, material mudah dikondisikan (pengeringan, penggilingan, dan lolos saringan No. 200) Berikut persyaratan *filler* dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Persyaratan *Filler*

Pengujian	Standar	Nilai
Material lolos saringan No. 200	SNI 03-6723-2022	Min 75%

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (Revisi 2, 2018)

3.3 Campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)*

Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC) merupakan campuran aspal beton menggunakan gradasi senjang dengan kandungan berupa agregat kasar, agregat halus, dan mempunyai kandungan aspal yang tinggi sehingga dibutuhkan mutu campuran beraspal yang baik untuk menghasilkan jalan dengan kelenturan dan keawetan yang baik. *HRS-WC* merupakan suatu campuran yang memiliki fungsi sebagai lapisan kedap air, tahan terhadap terbentuknya alur, mempunyai

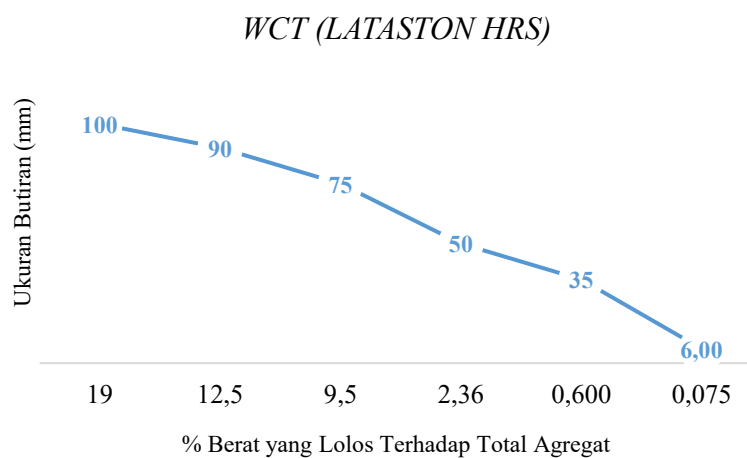
kehalusan permukaan, mampu menyalurkan beban, dan mempunyai tahanan gelincir. Berikut persyaratan gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal

Ukran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat		
		<i>Lataston (HRS)</i>		<i>Laston (AC)</i>
ASTM	(mm)	<i>WCT</i>	<i>BaseT</i>	<i>WCT</i>
1 1/2 "	37,5			
1"	25			
3/4 "	19	100	100	100
1/2 "	12,5	90-100	90-100	90-100
3/8 "	9,5	75-85	65-90	77-90
No.4	4,75			53-69
No.8	2,36	50-72	35-55	33-53
No.16	1,18			21-40
No.30	0,6	35-60	15-35	14-30
No.50	0,3			9-22
No.100	0,15			6-15
No.200	0,075	6-10	2-9	4-9

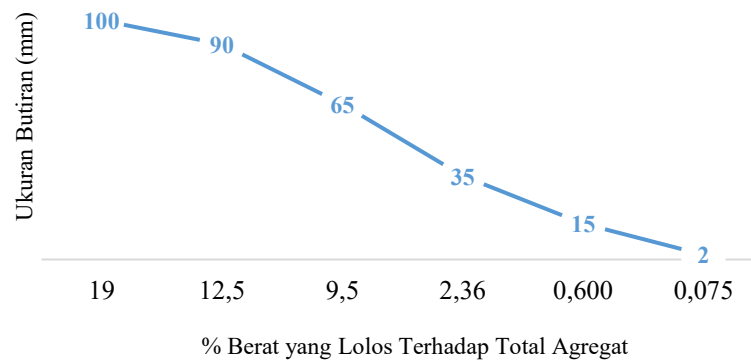
Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (Revisi 2, 2018)

Berikut merupakan Gambar 3.1 hingga 3.3 berupa grafik yang dihasilkan melalui data yang direkap dari tabel tersebut.



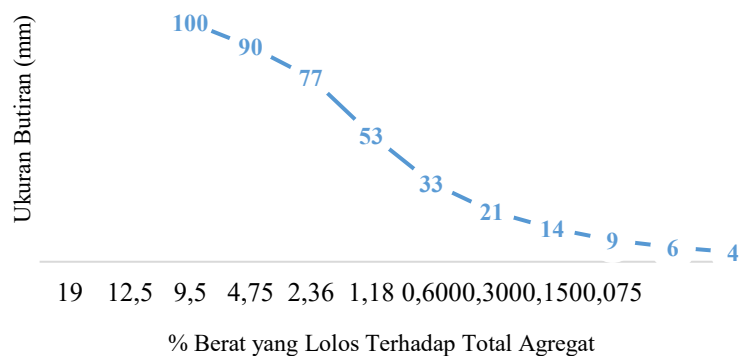
Gambar 3.1 Grafik Gradasi Agregat Gabungan *WCT (Lataston HRS)*

BASET (LATASTON HRS)



Gambar 3.2 Grafik Gradasi Agregat Gabungan *BASE T (Lataston HRS)*

WCT (LASTON AC)



Gambar 3.3 Grafik Gradasi Agregat Gabungan *WCT (Laston AC)*

3.4 Karakteristik Arang Batok Kelapa

Pada umumnya nilai kalor yang terkandung pada batok kelapa yaitu berkisar antara 18200 hingga 19388,05 kJ/kg (Dzulhadi dkk, 2022). Karbon aktif yang terdapat dalam kandungan tersebut merupakan jenis karbon yang memiliki luas permukaan yang besar (500 m²/g). Penambahan arang batok kelapa pada campuran beraspal dapat meningkatkan nilai penetrasi dan menaikkan nilai titik lembek aspal. Gambar arang batok kelapa hingga menjadi bubuk untuk siap dijadikan sebagai *filler* dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan 3.5 berikut.



Gambar 3.4 Arang Batok Kelapa



Gambar 3.5 Abu Arang Batok Kelapa

3.5 Karakteristik Pengujian *Marshall Standart (MS)*

Metode *Marshall* adalah metode yang paling umum digunakan dan distandarisasikan dalam (ASTM D97, 2013). Parameter Marshall terdiri dari 3 parameter yaitu beban maksimum yang dapat diterima benda uji sebelum hancur atau disebut dengan *Marshall Stability*, deformasi permanen dari benda uji sebelum hancur atau juga bisa disebut sebagai *Marshall Flow* (Dzulhadi dkk,2022).

Pengujian *Marshall* dilakukan sesuai dengan protokol Bina Marga. Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mengidentifikasi sifat kombinasi dan memastikan seberapa stabil atau tahan campuran aspal terhadap pencairan plastis (*flow*). Grafik yang dihasilkan menunjukkan hubungan persentase dari suatu kandungan aspal dan persentase kekosongan rongga yang diisi aspal (*Void Filled With Asphalt, VFWA*),

volume pori-pori antara partikel agregat dalam agregat mineral (*Void In Mineral Aggregate, VMA*), Volume pori yang tersisa setelah campuran aspal beton dipadatkan (*Void In The Mix, VITM*), stabilitas, dan *Marshall Quotient (MQ)* dibuat melalui pengamatan yang dilakukan selama pengujian *marshall*.

3.5.1 *Void In The Mix (VITM)*

VITM merupakan persentase antara rongga udara dan volume total campuran setelah dipadatkan. *VITM* yang semakin tinggi akan menyebabkan kelelahan yang semakin cepat. Nilai *VITM* akan semakin kecil apabila kadar aspal semakin besar. Untuk memperoleh nilai *VITM* dapat dihitung dengan rumus pada Persamaan 3.1 dan 3.2 sebagai berikut.

$$VITM = 100 - \left(100 \times \frac{g}{h}\right) \quad (3.1)$$

$$h = \frac{100}{\frac{\%agregat}{b.j\ agregat} + \frac{\%aspal}{b.j\ aspal}} \quad (3.2)$$

3.5.2 *Void Filled With Asphalt (VFWA)*

VFWA merupakan persentase rongga campuran yang terisi aspal dan terdapat di antara partikel agregat (*VMA*) yang terisi oleh aspal. Temperatur, jumlah pemadatan, kadar aspal dan gradasi agregat akan berpengaruh pada nilai *VFWA*. Untuk memperoleh nilai *VFWA* dapat diperoleh dari Persamaan 3.3 hingga 3.6 sebagai berikut.

$$m = 100 \times \frac{i}{j} \quad (3.3)$$

$$i = \frac{b \times g}{B_j A} \quad (3.4)$$

$$l = 100 - j \quad (3.5)$$

$$j = \frac{(100-b) \times g}{B_j \text{ Agregate}} \quad (3.6)$$

dengan :

m = nilai *VFWA (Void Filled With Asphalt)* (%),

g = berat isi sampel (gr/cc), dan

j = persentase aspal terhadap campuran.

3.5.3 Void In Material Aggregate (VMA)

VMA merupakan ruang rongga di antara partikel agregat pada perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). *VMA* dihitung berdasar pada berat jenis bulk (G_{sb}) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume bulk campuran yang dipadatkan. Nilai *VMA* dipengaruhi oleh faktor pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat, dan kadar aspal. Nilai *VMA* dapat dihitung dengan rumus pada Persamaan 3.7 sebagai berikut.

$$VMA = 100 - \frac{(100-B) \times G}{B_j \text{ Agregat}} \quad (3.7)$$

dengan :

VMA = rongga dalam mineral agregat,

B = % aspal terhadap campuran, dan

G = berat isi campuran.

3.5.4 Kepadatan (*Density*)

Kepadatan merupakan kerapatan dari hasil sebuah campuran setelah dilakukan pemadatan di laboratorium maupun di lapangan. Nilai kepadatan digunakan sebagai perbandingan nilai kepadatan dari perkerasan baik dari laboratorium maupun lapangan dan sebagai batasannya $\geq 96\%$ terhadap kepadatan yang berada di laboratorium. Tingkat kerapatan pada rongga perkerasan dipengaruhi oleh jenis fraksi agregat dari bahan penyusun, kualitas, dan jumlah kadar aspal yang ada. Nilai kepadatan (*density*) dapat dihitung dengan Persamaan 3.8 dan 3.9 sebagai berikut.

$$g = \frac{c}{f} \quad (3.8)$$

$$f = d - e \quad (3.9)$$

dengan :

g = nilai *Density*,

c = berat benda uji sebelum direndam (gr),

d = berat benda uji jenuh air (gr),

e = volume benda uji di dalam air (gr), dan

f = volume benda uji (cm^3).

3.5.5 Stabilitas

Stabilitas merupakan beban yang dapat ditahan campuran beton aspal sampai nantinya terjadi kelelahan plastis atau dengan kata lain yaitu kemampuan lapis keras untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya dengan tanpa mengalami perubahan bentuk tetap seperti alur dan gelombang. Pemeriksaan stabilitas dilakukan untuk mengukur ketahanan dari suatu benda uji terhadap beban, dan *flow* meter mengukur besarnya deformasi yang diakibatkan beban. Nilai stabilitas yang dipakai dapat dihitung dengan Persamaan 3.10 sebagai berikut.

$$q_s = p \times q \times 0,4356 \quad (3.10)$$

dengan:

q_s = stabilitas (kg),

p = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat,

q = angka koreksi tebal benda uji, dan

0,4356 = angka konversi lbs ke kg.

3.5.6 Kelelahan (*Flow*)

Suatu campuran yang memiliki *flow* yang tinggi dan melampaui batas maksimum maka campuran akan cenderung menjadi plastis, sehingga mudah berubah bentuk jika terlalu banyak dalam menerima beban. Sedangkan apabila nilai *flow* rendah, campuran tersebut akan menjadi kaku dan mudah retak jika beban melampaui dari daya dukungnya.

3.5.7 Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient merupakan hasil bagi antara nilai stabilitas dengan nilai *Flow*. Semakin besar nilai *Marshall Quotient* maka campuran semakin kaku, sebaliknya jika semakin kecil nilainya maka campuran akan semakin lentur. Nilai *Marshall Quotient* yang dipersyaratkan adalah lebih besar dari 250 kg/mm. Apabila nilai *Marshall Quotient* berada di bawah 250 kg/mm maka akan mengakibatkan perkerasan mudah mengalami *washboarding*, *rutting* dan *bleeding*, sedangkan nilai *Marshall Quotient* yang tinggi dapat mengakibatkan perkerasan menjadi kaku dan

mudah retak. Nilai *Marshall Quotient (MQ)* diperoleh dengan rumus yang ada pada Persamaan 3.11 berikut.

$$MQ = \frac{S}{F} \quad (3.11)$$

dengan :

MQ = nilai *Marshall Quotient* (kg/mm)

S = nilai Stabilitas (kg), dan

F = nilai *Flow* (mm).

3.6 *Index of Retained Strength (IRS)*

Index of Retained Strength merupakan percobaan untuk melihat ketahanan adukan aspal yang sudah jadi. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik campuran yang diakibatkan dari pengaruh suhu, cuaca, dan air. Dalam pengujian ini, campuran diuji keawetan dan kekuatannya saat temperatur konstan 60°C selama 30 menit dan 24 jam.

Berikut rumus untuk mencari nilai *Index of Retained Strength* yang dapat dilihat pada Persamaan 3.12.

$$\text{Index of Retained Strength} = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \quad (3.12)$$

dengan:

S_1 = stabilitas setelah direndam selama 30 menit, dan

S_2 = stabilitas setelah direndam selama 24 jam.

3.7 *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Indirect Tensile Strength merupakan suatu metode untuk mengetahui besar dari gaya Tarik yang mampu ditahan oleh campuran beraspal. Beberapa parameter yang dapat diketahui secara langsung dari uji *ITS* yaitu besar deformasi vertikal, deformasi horizontal, regangan, kuat tarik tidak langsung, *poisson ratio* (μ), modulus elastisitas (E). Nilai *ITS* menandakan batasan maksimum dari suatu

campuran mampu menahan beban lalu lintas sebelum akhirnya mengalami retak (*failure*) akibat kegagalan tarik yang ditimbulkan.

Berikut rumus untuk mencari nilai *Indirect Tensile Strength (ITS)* yang dapat dilihat pada Persamaan 3.13.

$$ITS = \frac{P_{runtuh}}{h} \times A_o \quad (3.13)$$

dengan :

ITS = *Indirect Tensile Strength* (N/mm²),

P_{runtuh} = beban puncak (kg),

h = tinggi sampel (cm), dan

A_o = konstanta.

3.8 *Tensile Strength Ratio (TSR)*

Tensile Strength Ratio pada umumnya digunakan untuk mengevaluasi kerentanan terhadap kerusakan akibat air dan kelembapan dalam campuran aspal. Rasio ini diperoleh sebagai persentase hubungan antara *ITS* dalam kondisi lembap dan kering. Nilai *ITS* yang berada pada tiap rendaman selanjutnya digunakan untuk mengetahui nilai indeks kuat Tarik tidak langsung atau *Tensile Strength Ratio (TSR)* yang dihasilkan dari tiap perendaman. Menurut *Asphalt Institute*, nilai *TSR* disyaratkan harus lebih besar dari 80%.

Berikut rumus untuk mencari nilai *Tensile Strength Ratio (TSR)* yang dapat dilihat pada Persamaan 3.14.

$$TSR = \frac{ITS_o}{ITS_n} \times 100\% \quad (3.14)$$

dengan:

TSR = *Tensile Strength Ratio* (kg/cm²),

ITS_o = kekuatan Tarik tidak langsung awal (kg/cm²), dan

ITS_n = kekuatan Tarik tidak langsung rendaman (kg/cm²).

3.9 *Cantabro Loss (CL)*

Cantabro Loss merupakan pengujian campuran aspal dengan tujuan untuk mengetahui ketahanan terhadap beban lalu lintas yang terjadi secara berulang-ulang dan menyebabkan perkerasan yang dilalui menjadi aus dan kekuatan mengalami penurunan. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat mesin Los Angeles dengan kondisi benda uji sudah dipadatkan pada kedua sisinya sebanyak 2×50 kali tumbukan. Kemudian benda uji diletakkan di dalam drum mesin Los Angeles tanpa bola lalu diputar sebanyak 300 kali putaran.

Berikut rumus untuk mencari nilai *Cantabro Loss* yang dapat dilihat pada Persamaan 3.15.

$$L = \frac{(M_o - M_i)}{M_o} \times 100\% \quad (3.15)$$

dengan :

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 yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu metode penelitian eksperimen yang dilakukan dengan pengolahan data yang disesuaikan dengan standar spesifikasi yang berlaku. Pada pengujian yang dilakukan ini menggunakan metode dengan persyaratan yang mengacu pada peraturan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Bina Marga 2018 Revisi 2. Metode dalam penelitian yang dilakukan yaitu menggunakan *Marshall Test*, *Immersion Test (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)* dan *Cantabro Loss (CL)*, dengan segala pedoman dan syarat-syarat mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Bina Marga tahun 2018 revisi 2. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui karakteristik *Marshall*, *IRS*, *ITS*, *TSR* dan kinerja *CL* yang digunakan untuk mengetahui kekuatan serta durabilitas dari campuran yang digunakan, yaitu *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* yang menggunakan abu arang batok kelapa yang digunakan sebagai *filler* dengan variasi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%.

4.2 Metode Pengambilan Sampel

Pada pengujian ini, pengambilan sampel abu arang batok kelapa yang digunakan sebagai *filler* didapatkan dari Kabupaten Temanggung, Jawa Tengah. Agregat dan aspal yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Lab Universitas Islam Indonesia. Dalam penelitian ini pengambilan sampel yang dilakukan menggunakan metode eksperimental, yaitu dilakukannya percobaan dan pengujian agar mendapatkan data-data yang diperlukan dan diolah sehingga mendapatkan pembahasan serta pengetahuan baru. Data yang didapatkan dari pengujian kemudian dianalisis dan dibandingkan dengan persyaratan dari standar spesifikasi yang digunakan.

4.3 Metode Pengambilan Data

Metode pengambilan data pada pengujian ini digunakan dengan menggunakan beberapa prosedur dalam mendapatkan suatu analisis data dari Langkah-langkah yang dilakukan. Pada saat pengambilan data perlu mengelompokkan sampel yang digunakan untuk mempermudah pembacaan hasil pengujian yang dilakukan dalam pengujian campuran beton aspal, sehingga dari pengelompokan tersebut dapat dihasilkan nilai *Stability*, *Flow*, *Density*, *VITM*, *VFWA*, *VMA*, *MQ*, *IRS*, *ITS*, *TSR*, dan *Cantabro Loss*.

Dalam penelitian ini, pengujian di laboratorium dilakukan untuk memperoleh beberapa data yang nantinya akan diolah. Dalam pembuatan sampel dilakukan dengan langsung mengolahnya di daerah asal yaitu Temanggung. Sedangkan untuk pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Universitas Islam Indonesia.

Tahapan yang dilakukan dalam melakukan penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Mempersiapkan bahan
2. Memeriksa bahan
3. Mempersiapkan alat
4. Pengujian *MS*
5. Pengujian *IRS*
6. Pengujian *ITS*
7. Pengujian *TSR*
8. Pengujian *CL*

4.4 Langkah-langkah Penelitian

Bahan dan material perlu dipersiapkan untuk pembuatan campuran beton aspal yaitu agregat halus, agregat kasar, dan abu arang batok kelapa yang digunakan sebagai *filler* dan material tersebut harus dipastikan dalam kondisi bersih dari material lain yang tidak diperlukan dan diuji terlebih dahulu sebelum digunakan. Pengujian ini berdasarkan pada SNI, ASTM, dan Bina Marga 2018 Revisi 2.

4.4.1 Pemeriksaan Bahan

Pemeriksaan bahan dilakukan sebelum digunakan dalam campuran perkerasan dengan dilakukan melalui serangkaian pengujian sebagai berikut.

1. Pemeriksaan Agregat

Agregat merupakan suatu komponen yang berperan penting dalam terjadinya suatu perkerasan jalan. Kualitas, mutu dan daya dukung ditentukan dari suatu agregat yang digunakan. Maka dari itu diperlukan pengujian terhadap agregat kasar dan halus. Pengujian yang dilakukan yaitu sebagai berikut.

a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat (SNI 1969 : 2008 dan SNI 1970 : 2008)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan suatu berat jenis (*bulk*), berat kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry = SSD*) dan berat jenis semu (*apparent*), serta penyerapan dari agregat halus.

b. Pengujian Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (SNI 06-2439-1991)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kelekatan agregat terhadap suatu aspal.

c. Pengujian Keausan Agregat (SNI-2417-2008)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*.

d. Pengujian *Sand Equivalent* (SNI-3423-2008)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar debu atau lumpur atau bahan yang mempunyai lempung pada tanah atau agregat halus.

2. Pengujian Aspal

Pengujian Aspal dilakukan untuk mengetahui suatu kualitas aspal yang digunakan, dengan perlu melakukan beberapa pengujian sebagai berikut.

a. Pengujian berat jenis aspal (SNI 06-2441-1991).

Berat jenis aspal merupakan perbandingan berat aspal dan berat air suling dengan volume yang sama pada suhu tertentu. Pengujian ini bermaksud untuk mencari nilai berat jenis bitumen dengan *picnometer*.

b. Pengujian Penetrasi (SNI 06-2456-1991)

Pengujian penetrasi bertujuan untuk menentukan tingkat kekerasan dari suatu aspal dengan cara memasukkan jarum yang memiliki ukuran, beban dan waktu tertentu kedalam suatu aspal dengan suhu tertentu.

c. Pengujian Daktilitas (SNI 06-2432-1991)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat kohesi dalam aspal itu sendiri yaitu dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi aspal keras sebelum putus pada suhu dan kecepatan tarik tertentu.

d. Pengujian Kelarutan dalam *TCE* (ASTM D5546)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan jumlah aspal yang larut dalam *TCE*.

e. Pengujian Titik Lembek (SNI 06-2434-1991)

Pengujian ini bertujuan untuk menunjukkan temperature aspal Dimana aspal mengalami batas perpindahan antar bentuk padat ke cair.

f. Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar (SNI 06-2433-1991)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan suhu dimana aspal terlihat menyala singkat pada permukaan aspal (titik nyala) dan suhu saat terlihat nyala sekurang-kurangnya 5 detik (titik bakar).

4.4.2 Persiapan Alat

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Berikut merupakan alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini.

1. Alat tekan *Marshall* yang terdiri sebagai berikut.

- a. Kepala penekan yang berbentuk lengkung (*breaking head*)
- b. Cincin penguji dengan kapasitas 2500 kg (5000 *pound*) dengan ketelitian yaitu 12,5 kg (25 *pound*) dilengkapi arloji tekan dengan ketelitian yaitu 0,0025 cm (0,0001")
- c. Arloji yang digunakan sebagai penunjuk kelelahan dengan ketelitian 0,25 mm (0,01") dengan perlengkapannya.

2. Alat Uji *Indirect Tensile Strength*, yang meliputi alat ukur tekan (*strip loading*) sebesar 0,5 inch, Arloji pengukuran stabilitas, Arloji pengukuran kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm.
3. Alat Uji *Cantabro*, yang meliputi satu set mesin Los Angeles.
4. Cetakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm (4") dan tinggi 7,5 cm (3") dilengkapi dengan pela tatas dan leher sambung.
5. *Oven*, alat untuk memanaskan bahan yang akan diuji yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai dengan 200 °C.
6. *Ejector*, yaitu alat untuk mengeluarkan benda uji yang sudah dipadatkan melalui cetakan.
7. *Compactor*, alat penumbuk yang memiliki permukaan tumbuk rata dengan bentuk silinder yang mempunyai berat 4,536 kg (10 pound) dan tinggi jatuh beban yaitu 45,7 cm (18").
8. Bak perendam (*Waterbath*), dilengkapi dengan pengatur suhu minimum yaitu 200 °C.
9. Perlengkapan lain yang diperlukan, yaitu:
 - a. Panci yang digunakan untuk memanaskan agregat, aspal, dan campuran aspal.
 - b. Pengukur suhu dari logam (*Metal Thermometer*) berkapasitas 250 °C dan 100 °C.
 - c. Timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 0,1 gram,
 - d. Spatula, sarung tangan berbahan karet, sendok pengaduk, kompor dan perlengkapan lainnya.

4.4.3 Rencana Campuran *HRS-WC*

Material yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa komponen penyusun yaitu agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal yang telah diuji terlebih dahulu sebelum nantinya digunakan sebagai campuran HRS-WC. Gradasi yang digunakan disesuaikan dengan campuran perkerasan yang digunakan. Pedoman gradasi agregat yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan pada persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi ke-2. Campuran yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *HRS-WC* bergradasi senjang. *HRS-WC*

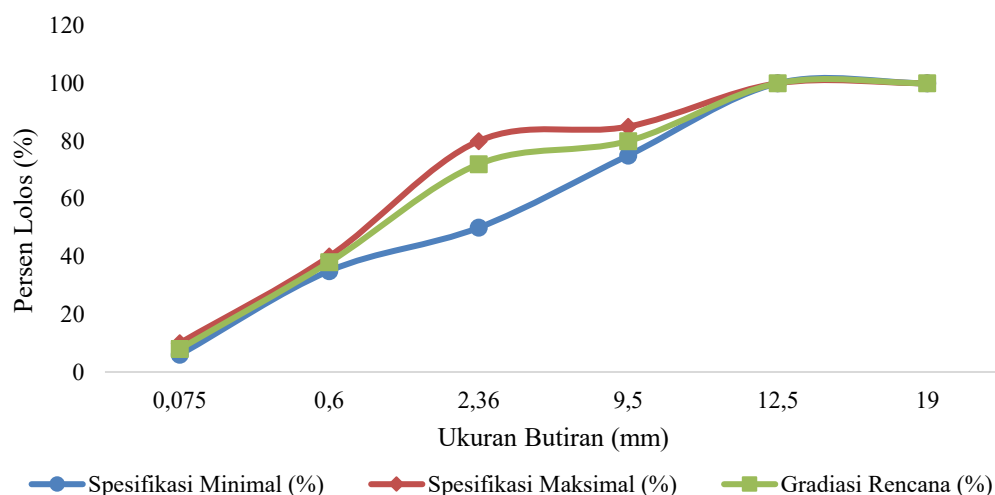
bergradasi senjang pada Bina Marga 2018 Revisi ke-2 minimal yaitu 80% agregat yang lolos pada ayakan no.8 (2,36 mm) harus lolos pada ayakan no.30 (0,600 mm). Penggunaan komposisi *filler* abu arang batok kelapa pada pengujian ini yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dari total berat *filler* yang digunakan. Gradasi agregat rencana campuran perkerasan HRS-WC dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Gradasi Agregat Campuran *HRS-WC* Bergradasi Senjang

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)	
	Min.	Maks.	Lolos.	Tertahan
3/4" (19 mm)	100	100	100	0
1/2" (12,5 mm)	90	100	95	5
3/8" (9,5 mm)	75	85	80	20
No.8 (2,36 mm)	50	72	61	39
No.30 (0,600 mm)	35	60	47,5	52,5
No.200 (0,075 mm)	6	10	8	92
PAN	0	0	0	8

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga (Revisi 2, 2018)

Dari tabel di atas didapatkan grafik agregat rencana campuran perkerasan HRS-WC dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Grafik Agregat Rencana *HRS-WC* Gradasi Senjang

Dengan didapatkannya gradasi agregat yang sesuai dengan spesifikasi, maka dapat dilakukan perhitungan kadar aspal optimum (KAO). Perhitungan kadar aspal optimum didapatkan dari Persamaan 4.1 berikut.

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

dengan:

P_b = kadar aspal perkiraan

CA = agregat kasar tertahan saringan No.4,

FA = agregat halus lolos saringan No. 4 dan tertahan No. 200,

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

K = konstanta 2,0-3,0 untuk Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston).

Berdasarkan rumus di atas, didapatkan bahwa nilai kadar optimal *HRS WC* bergradasi senjang sebagai berikut.

$$CA = (100 - 61) \%$$

$$= 39\%$$

$$FA = (92 - 39) \%$$

$$= 53\%$$

$$Filler = 8\%$$

Nilai konstanta yang digunakan dalam campuran *HRS WC* yaitu 2,0-3,0, maka dari itu, nilai konstanta yang digunakan adalah 2,0. Perhitungan nilai KAO untuk *HRS WC* bergradasi senjang terdapat pada persamaan berikut.

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

$$P_b = 0,035 \times (39\%) + 0,045 \times (53\%) + 0,18(8\%) + 2$$

$$P_b = 7,19 \approx 7\%$$

Dengan perhitungan tersebut didapatkan nilai P_b sebesar 7,19% yang dibulatkan ke bawah menjadi 7%, setelah itu diambil 2 nilai di atas dan di bawah 7% dengan margin 0,5%, maka dari itu variasi kadar aspal yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu 6%, 6,5%, 7%, 7,5% dan 8% dari total berat campuran.

Bahan uji yang digunakan memiliki berat total campuran sebesar 1.200 gr dengan bahan ikat yang akan digunakan dalam pengujian yaitu aspal PEN 60/70.

Kebutuhan agregat untuk tiap variasi kadar aspal yang akan diuji terdapat pada Tabel 4.2, Tabel 4.3, Tabel 4.4, Tabel 4.5, dan Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.2 Kebutuhan Gradasi Agregat senjang untuk Kadar Aspal 6%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)		Berat (gr)	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
3/4" (19 mm)	100	100	100	0	1128	0
1/2" (12,5 mm)	90	100	95	5	1071,6	56,4
3/8" (9,5 mm)	75	85	80	20	902,4	169,2
No,8 (2,36 mm)	50	72	61	39	688,08	214,32
No,30 (0,600mm)	35	60	47,5	52,5	535,8	152,28
No,200 (0,075mm)	6	10	8	92	90,24	445,56
PAN				8	0	90,24
Total						1128

Tabel 4.3 Kebutuhan Gradasi Agregat senjang untuk Kadar Aspal 6,5%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)		Berat (gr)	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
3/4" (19 mm)	100	100	100	0	1122	0
1/2" (12,5 mm)	90	100	95	5	1065,9	56,1
3/8" (9,5 mm)	75	85	80	20	897,6	168,3
No,8 (2,36 mm)	50	72	61	39	684,42	213,18
No,30 (0,600mm)	35	60	47,5	52,5	532,95	151,47
No,200 (0,075mm)	6	10	8	92	89,76	443,19
PAN				8	0	89,76
Total						1122

Tabel 4.4 Kebutuhan Gradasi Agregat senjang untuk Kadar Aspal 7%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)		Berat (gr)	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
3/4" (19 mm)	100	100	100	0	1116	0
1/2" (12,5 mm)	90	100	95	5	1060,2	55,8
3/8" (9,5 mm)	75	85	80	20	892,8	167,4
No,8 (2,36 mm)	50	72	61	39	680,76	212,04
No,30 (0,600mm)	35	60	47,5	52,5	530,1	150,66
No,200 (0,075mm)	6	10	8	92	89,28	440,82
PAN				8	0	89,28
Total						1116

Tabel 4.5 Kebutuhan Gradasi Agregat senjang untuk Kadar Aspal 7,5%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)		Berat (gr)	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
3/4" (19 mm)	100	100	100	0	1110	0
1/2" (12,5 mm)	90	100	95	5	1054,5	55,5
3/8" (9,5 mm)	75	85	80	20	888	166,5
No,8 (2,36 mm)	50	72	61	39	677,1	210,9
No,30 (0,600mm)	35	60	47,5	52,5	527,25	149,85
No,200 (0,075mm)	6	10	8	92	88,8	438,45
PAN				8	0	88,8
Total						1110

Tabel 4.6 Kebutuhan Gradasi Agregat senjang untuk Kadar Aspal 8%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)		Berat (gr)	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
3/4" (19 mm)	100	100	100	0	1104	0
1/2" (12,5 mm)	90	100	95	5	1048,8	55,2
3/8" (9,5 mm)	75	85	80	20	883,2	165,6
No,8 (2,36 mm)	50	72	61	39	673,44	209,76
No,30 (0,600mm)	35	60	47,5	52,5	524,4	149,04
No,200 (0,075mm)	6	10	8	92	88,32	436,08
PAN				8	0	88,32
Total						1104

4.4.4 Jumlah Benda Uji

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebanyak 75 buah, yaitu 15 benda uji digunakan dalam menentukan nilai KAO, sedangkan untuk 60 benda uji lainnya digunakan untuk pengujian KAO. Benda uji berjumlah 15 yang digunakan untuk menentukan nilai KAO yaitu karena pada penelitian ini hanya menggunakan satu jenis gradasi agregat, sehingga satu gradasi agregat tersebut akan menggunakan 15 benda uji. Pengujian KAO yang akan dilakukan yaitu menggunakan beberapa tipe pengujian yaitu uji *Marshall*, *IRS*, *ITS*, *TSR* dan *Cantabro*. Rincian dari benda uji yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.7 Jumlah Benda Uji untuk Mencari Nilai KAO

Jenis Campuran	Kadar Aspal (%)					Jumlah Benda Uji (buah)
	6	6,5	7	7,5	8	
<i>HRS WC</i> bergradasi Senjang	3	3	3	3	3	15
Total						15

Tabel 4.8 Jumlah Benda Uji untuk Tiap Pengujian pada KAO

Jenis Campuran	Jenis Pengujian	Kadar <i>Filler</i> AABK (%)					Jumlah Benda Uji (buah)
		0	25	50	75	100	
<i>HRS WC</i> bergradasi Senjang	<i>MS</i>	3	3	3	3	3	15
	<i>IRS</i>	3	3	3	3	3	15
	<i>ITS</i>	3	3	3	3	3	15
	<i>TSR</i>	3	3	3	3	3	15
	<i>CL</i>	3	3	3	3	3	15
Total							75

4.4.5 Pengujian *MS*

Pengujian *MS* memiliki tujuan yaitu untuk mendapatkan nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*). Dengan didapatkannya nilai tersebut selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai kepadatan (*density*), *Voids in Mineral Aggregate (VMA)*, *Voids in Total Mix (VITM)*, *Voids Filled with Asphalt (VFWA)*, dan *Marshall Quotient (MQ)*. Cara pengujian Marshall yang akan dilakukan, berpedoman pada SNI 06-2489-1991. Tahapan pengujian Marshall dapat dilihat sebagai berikut.

1. Benda uji yang akan digunakan perlu dibersihkan dari kotoran atau material lain yang menempel dan masing-masing diberi tanda pengenal agar mempermudah saat penggunaan.
2. Saring agregat yang sudah disediakan sesuai dengan gradasi yang diinginkan menggunakan mesin penyaring, kemudian agregat tersebut ditimbang dan dipisahkan sesuai dengan kebutuhan kadar aspal yang akan diuji, campuran agregat yang sudah dipisahkan dimasukkan ke dalam plastik agar tidak tercampur kembali dengan agregat yang lain, pada penelitian ini kadar aspal yang akan digunakan untuk mencari nilai KAO adalah 6%, 6,5%, 7%, 7,5%,

dan 8%, sedangkan untuk perencanaan campuran dengan bahan pengganti sebagian *filler* menggunakan abu arang batok kelapa dengan kadar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% terhadap berat *filler*.

3. Agregat kasar, halus, dan *filler* dipanaskan hingga suhu $\pm 150^{\circ}\text{C}$,
4. Selanjutnya, aspal dipanaskan secara terpisah, dan untuk aspal Pen 60/70 benda uji dipanaskan hingga suhu $160^{\circ}\text{C} - 170^{\circ}\text{C}$,
5. Aspal dan agregat yang telah dipanaskan dicampurkan, lalu aduk hingga tercampur merata,
6. Sesudah suhu pemadatan tercapai, campuran dimasukkan ke dalam cetakan (*mold*) yang di bagian dalamnya sudah diolesi oli. Kertas minyak yang sudah disiapkan dan dipotong sesuai bentuk cetakan diletakkan pada bagian bawah cetakan. Benda uji dimasukkan ke dalam cetakan kemudian diratakan menggunakan spatula kemudian ditumbuk sebanyak 15 kali di bagian pinggir dan 10 kali dibagikan tengah. Setelah benda uji diratakan kemudian bagian atas cetakan ditutup menggunakan kertas minyak di bagian permukaannya,
7. Cetakan yang sudah disediakan kemudian diletakkan di alat penumbuk dan dipadatkan sebanyak 50 sisi pada masing-masing sisinya, dengan campuran perkerasan *HRS-WC* memiliki kadar agregat halus yang lebih dominan .
8. Setelah pemadatan dilakukan, benda uji didiamkan pada suhu ruangan agar suhunya menurun. Setelah temperaturnya turun, benda uji dikeluarkan dari cetakan menggunakan bantuan alat *ejector* dan diberi nama,
9. Benda uji dibersihkan dari kotoran ataupun material lain yang menempel. Setelah itu, dimensinya diukur dari 3 sisi yang berbeda menggunakan alat pengukur dengan ketelitian 0,1 mm dan hasilnya diratakan,
10. Benda uji tersebut kemudian ditimbang dalam keadaan kering guna mengetahui berat keringnya.
11. Benda uji direndam dalam air dengan suhu ruangan selama 24 jam agar benda uji berada dalam kondisi jenuh air,
12. Kemudian benda uji diangkat dari air dan ditimbang menggunakan timbangan yang sudah dipasang alat guna mengetahui berat benda uji di dalam air,

13. Benda uji dikeringkan menggunakan kain lap sampai permukaan benda uji tidak terdapat air atau kondisi *Saturated Surface Dry (SSD)*,
14. Benda uji ditimbang dalam kondisi *Saturated Surface Dry (SSD)*,
15. Kemudian benda uji direndam kembali dalam bak perendam (*water bath*) selama 30 menit dengan suhu air $60 \pm 1^\circ\text{C}$,
16. Kepala penekan (*test head*) disiapkan dan selanjutnya dibersihkan dan diberi minyak pelumas agar kepala penekan dapat meluncur tanpa hambatan,
17. Benda uji dipasang pada ring dan diletakkan pada piston pendorong,
18. *Flowmeter* dipasang pada posisi di atas salah satu batang penuntun (*guide road*),
19. Kepala penekan benda uji dinaikkan sehingga menyentuh alas cincin penguji, setelah itu diatur pada kedudukan arloji tekan pada angka nol,
20. Pembebanan dimulai dengan kecepatan tetap 50 mm/menit, sehingga pembebanan maksimum tercapai.
21. Benda uji dikeluarkan dari alat uji setelah pembebanan selesai, dan hasil yang sudah didapat dilanjutkan dengan analisis perhitungan selanjutnya.

4.4.6 Pengujian ITS

Berikut merupakan tahapan yang dilakukan dalam pengujian ITS.

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Membuat benda uji sesuai dengan perancangan menggunakan nilai KAO yang telah diperoleh dari pengujian *Marshall*.
3. Menimbang dan mengukur dimensi benda uji yaitu tinggi sampel dan diameter.
4. Merendam benda uji dalam *waterbath* dengan suhu 60°C selama 30 menit, kemudian mendinginkan benda uji pada suhu ruang.
5. Meletakkan benda uji pada mesin ITS.
6. Menyalakan mesin uji dan mengamati pembacaan dial dan mencatat hasilnya.

4.4.7 Pengujian TSR

Berikut merupakan tahapan yang dilakukan dalam pengujian TSR.

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.

2. Membuat benda uji sesuai dengan komposisi perhitungan dan menggunakan nilai KAO yang telah diperoleh dari hasil pengujian marshall.
3. Menimbang dan mengukur dimensi benda uji yaitu tinggi sampel dan diameter.
4. Merendam benda uji di dalam *waterbath* dengan suhu 60°C selama 24 jam, kemudian mendinginkan benda uji pada suhu ruang selama 24 jam.
5. Meletakkan benda uji pada mesin *TSR*.
6. Menyalakan mesin uji dan mengamati pembacaan dial dan mencatat hasilnya.

4.4.8 Pengujian *IRS*

Berikut merupakan tahapan yang dilakukan dalam pengujian *IRS*.

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* 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 *CL*

Berikut merupakan tahapan yang dilakukan dalam pengujian *Cantabro Loss*.

1. Benda uji yang ada didasarkan pada nilai KAO yang sudah didapatkan melalui Pengujian Marshall yang kemudian diganti sebagian *filler* dengan kadar abu arang batok kelapa 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% terhadap berat *filler*.
2. Benda uji ditimbang terlebih dahulu menggunakan timbangan sebelum dilakukan pengujian.
3. Benda uji yang sudah ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam mesin *Los Angeles*,
4. Mesin *Los Angeles* tersebut kemudian dijalankan dan putaran mesin yang digunakan sebanyak 300 putaran.
5. Benda uji kemudian ditimbang kembali setelah pengujian, dan
6. Hasil pengujian yang telah didapatkan kemudian dianalisis dan dilakukan pembahasan.

4.5 Analisis Data

Setelah selesai dilakukan pengujian, maka dilanjutkan dengan analisis data hasil pengujian. Analisis data yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Analisis Karakteristik *Marshall*

Berikut adalah data yang diperoleh dari Pengujian *Marshall*.

- a. Berat benda uji dalam keadaan kering (gr),
- b. Berat benda uji dalam air (gr),
- c. Berat benda uji dalam kondisi jenuh (gr),
- d. Tebal benda uji (cm),
- e. Pembacaan *dial* stabilitas (Kg), dan
- f. Pembacaan *dial* kelelahan atau *flow* (mm).

Berikut adalah rumus perhitungan yang akan digunakan untuk mendapatkan nilai-nilai karakteristik *Marshall*.

a. Berat Jenis Aspal

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

dengan

A = berat piknometer dengan penutup (gram)

B = berat piknometer terisi air dan penutup (gram),

C = berat piknometer terisi aspal dan penutup (gram),

D = berat piknometer terisi aspal dan air serta penutup (gram).

b. Berat Jenis Agregat Kasar dan Penyerapan Air

$$S_d = \frac{A}{(B-C)} \quad (4.3)$$

$$S_s = \frac{B}{(B-C)} \quad (4.4)$$

$$S_a = \frac{A}{(A-C)} \quad (4.5)$$

$$S_w = \left[\frac{(B-A)}{A} \right] \times 100\% \quad (4.6)$$

dengan:

S_d = berat jenis pada keadaan kering (gr),

S_s = berat jenis pada keadaan jenuh kering permukaan (gr),

S_a = berat jenis pada keadaan semu (gr),

S_w = penyerapan Air (%),

A = berat benda uji pada keadaan kering oven (gr),

B = berat benda uji pada keadaan jenuh kering permukaan (gr),

C = berat benda uji pada keadaan jenuh air (gr)

c. Berat Jenis Agregat Halus dan Penyerapan Air

$$S_d = \frac{A}{(B-C)} \quad (4.3)$$

$$S_s = \frac{B}{(B-C)} \quad (4.4)$$

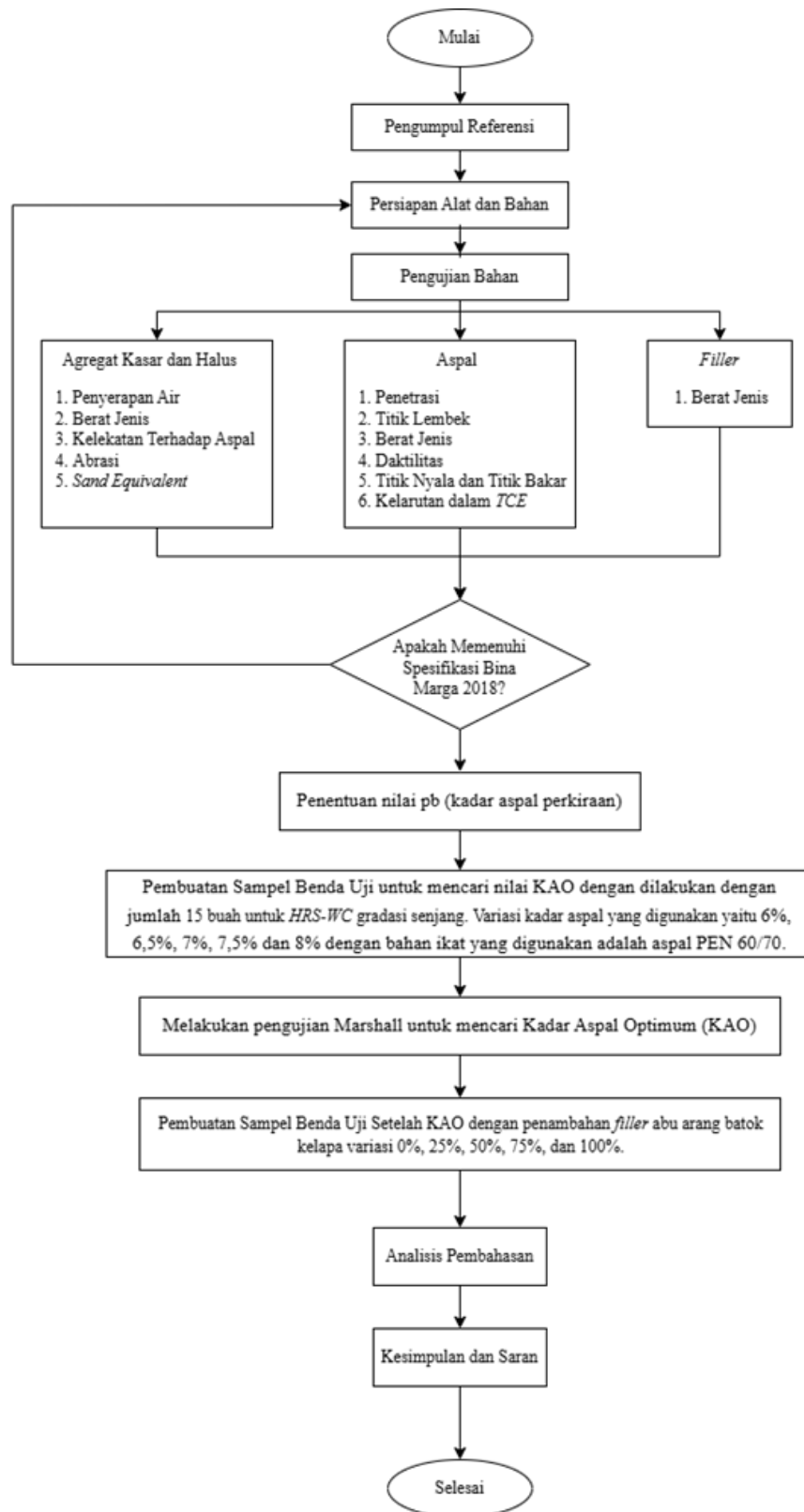
$$S_a = \frac{A}{(A-C)} \quad (4.5)$$

$$Sw = \left[\frac{(B-A)}{A} \right] \times 100\% \quad (4.6)$$

- d. Nilai stabilitas terdapat pada Persamaan (3.10)
 - e. Nilai kelelahan (*flow*) didapat melalui pembacaan arloji kelelahan.
 - f. Nilai *Marshall Quotient (MQ)* terdapat pada Persamaan (3.11)
 - g. Nilai *Voids in Mineral Aggregate (VMA)* terdapat pada Persamaan (3.7)
 - h. Nilai *Voids Filled with Asphalt (VFWA)* terdapat pada Persamaan (3.3) sampai Persamaan (3.6).
2. Analisis Kadar Aspal Optimum (KAO)
- Penentuan KAO pada campuran *HRS-WC* ditentukan melalui karakteristik hasil pengujian Marshall yang memenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut.
- a. *Voids in Total Mix (VITM)* dengan persyaratan 3%-5%.
 - b. *Voids in Mineral Aggregate (VMA)* dengan persyaratan minimum 17%, dan
 - c. Minimum syarat kadar aspal efektif 5,9 %.
- Dengan hasil pengujian Marshall yang telah melalui berbagai persyaratan tersebut, selanjutnya akan didapatkan batas minimum dan maksimumnya.
3. Analisis *CL*
- Nilai *CL* diperoleh melalui uji keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*.

4.6 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir (*flowchart*) merupakan gambaran singkat mengenai tahapan-tahapan dalam penelitian Tugas Akhir ini. Bagan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Karakteristik Material dan Campuran

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Aspal yang digunakan dalam pengujian ini yaitu aspal Pertamina Pen 60/70 yang berada di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Karakteristik aspal yang digunakan mengacu pada pedoman Bina Marga 2018 Revisi ke-2 dan hasil pengujian yang dilakukan telah memenuhi prosedur yang ditetapkan. Hasil pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1.	Berat Jenis	1,025	> 1,0	Memenuhi
2.	Penetrasi	61,10	60 - 70	Memenuhi
3.	Daktilitas	150	> 100	Memenuhi
4.	Titik Nyala	332	> 232	Memenuhi
5.	Titik Bakar	339	> 232	Memenuhi
6.	Kelarutan Terhadap <i>TCE</i> (%)	99,32	> 99	Memenuhi
7.	Titik Lembek	49	> 48	Memenuhi

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian karakteristik Agregat Kasar menggunakan agregat tertahan saringan No.8. Pada penelitian ini menggunakan agregat kasar berasal dari Clereng, Kab. Kulon Progo, D.I. Yogyakarta. Hasil dari pengujian agregat kasar yang dilakukan mengacu pada Bina Marga 2018 Revisi ke-2. Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan agregat kasar yang digunakan memiliki sifat fisik yang sesuai dengan standar perkerasan jalan. Hasil yang diperoleh digunakan sebagai dasar

dalam menentukan kualitas dan kinerja campuran perkerasan yang akan diuji. Hasil Pengujian karakteristik Agregat Kasar dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Berat Jenis	2,59	Min. 2,5	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	1,62	Maks. 3	Memenuhi
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	98	Min. 95	Memenuhi
4	Keausan dengan Mesin <i>Los Angeles</i> (%)	16,29	Maks. 40	Memenuhi

5.1.3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Pengujian karakteristik Agregat Halus yang dilakukan menggunakan agregat lolos saringan No.8 dan tertahan pada saringan No.200. Hasil pengujian agregat halus yang dilakukan berpedoman pada Bina Marga 2018 Revisi ke-2 dan dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Berat Jenis	2,52	Min. 2,5	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	2,48	Maks. 3	Memenuhi
3	<i>Sand Equivalent</i> (%)	71,84	Min. 50	Memenuhi

5.1.4 Hasil Pengujian Karakteristik *Filler* Clereng dan *Filler* Pengganti

Pada penelitian ini, digunakan dua jenis *filler* yang digunakan, yaitu abu batu yang berasal dari Clereng, Kab. Kulon Progo, D.I. Yogyakarta dan abu arang batok kelapa yang berasal dari Kab. Temanggung, Jawa Tengah. Kedua jenis *filler* tersebut mempunyai perbedaan yang cukup signifikan. Abu Clereng dan Abu Arang Batok Kelapa (AABK) yang digunakan pada penelitian ini sudah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 Revisi ke-2 yaitu lolos saringan no.200 dan diketahui berat jenisnya. Hasil pengujian dari kedua jenis *filler* tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian *Filler*

No.	Jenis Pengujian	Jenis <i>Filler</i>	Keterangan
1.	Lolos Saringan No. 200	Abu Batu	Lolos
		Abu Arang Batok Kelapa	Lolos
2.	Berat Jenis	Abu Batu	2,53
		Abu Arang Batok Kelapa	1,70

5.2 Pembahasan

5.2.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian aspal Pen 60/70 memiliki penjelasan sebagai berikut.

1. Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal adalah rasio berat antara aspal dengan volume terhadap air dalam temperatur tertentu. Pada pengujian yang dilakukan mendapatkan hasil berat jenis aspal yaitu 1,025 gr/cc, dan hasil tersebut telah memenuhi persyaratan SNI 2411:2011 yaitu ≥ 1 gr/cc.

2. Penetrasi Aspal

Penetrasi aspal adalah ukuran tingkat kekerasan aspal. Semakin keras suatu aspal, maka nilai penetrasinya akan semakin kecil, begitu pula sebaliknya. Aspal yang lebih keras cenderung memiliki nilai kohesi yang lebih tinggi. Berdasarkan hasil uji penetrasi aspal yang telah dilakukan, didapatkan nilai 61,10 mm pada suhu 25°C, dimana hasil tersebut telah memenuhi persyaratan SNI 2456:2011 yaitu berada di antara 60 mm sampai 70 mm.

3. Daktilitas

Daktilitas aspal adalah suatu uji yang menunjukkan nilai elastisitas aspal dengan diukur melalui seberapa panjang aspal dapat ditarik pada temperatur 25°C sebelum akhirnya terputus. Pengujian ini dimaksudkan untuk dapat mengetahui sifat kohesi dari suatu aspal. Pada pengujian yang telah dilakukan mendapatkan nilai sebesar 150 cm, dimana angka tersebut telah memenuhi persyaratan dari SNI 2432:2011 yaitu ≥ 100 cm. Hasil ini menunjukkan

bahwa aspal yang digunakan memiliki tingkat elastisitas yang baik dan mampu menahan deformasi tanpa mengalami kerusakan.

4. Titik Nyala

Titik nyala aspal adalah suhu batas ketika aspal dipanaskan hingga menghasilkan percikan api singkat di permukaannya, sehingga dapat diketahui suhu maksimum pemanasan sebelum aspal terbakar. Dari hasil pengujian, titik nyala aspal diperoleh sebesar 332°C, yang telah memenuhi ketentuan SNI 2433:2011 yaitu $\geq 232^{\circ}\text{C}$.

5. Titik Bakar

Titik bakar aspal adalah suhu batas ketika aspal dipanaskan hingga memunculkan nyala api di permukaan selama ± 5 detik, sehingga dapat diketahui suhu maksimum pemanasan sebelum aspal terbakar sepenuhnya. Dari hasil pengujian diperoleh titik bakar sebesar 339°C, yang telah memenuhi standar SNI 2433:2011 yaitu $\geq 232^{\circ}\text{C}$.

6. Kelarutan terhadap Cairan *Trichloroethylene (TCE)*

Kelarutan aspal terhadap *TCE* menunjukkan persentase kandungan mineral yang menempel pada aspal. Semakin rendah persentase kelarutan, semakin tinggi kandungan mineral lain di dalam aspal, yang dapat mengurangi daya ikat aspal terhadap agregat. Hasil pengujian menunjukkan nilai kelarutan sebesar 99,32 dan telah memenuhi standar AASHTO T44-14 yaitu $\geq 99\%$.

7. Titik Lembek

Titik lembek aspal adalah suhu maksimum sebelum aspal mulai melunak. Suhu ini digunakan untuk menunjukkan titik dimana suatu campuran aspal menjadi lebih cair atau plastis. Hasil pengujian menunjukkan nilai titik lembek sebesar 49°C, yang telah sesuai dengan standar SNI 2434:2011 yaitu $\geq 48^{\circ}\text{C}$.

5.2.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Penjelasan mengenai pengujian agregat kasar adalah sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat Kasar

Berat jenis agregat kasar adalah perbandingan berat (*Saturated Surface Dry*) dengan satuan volume terhadap berat air pada suatu temperatur tertentu.

Perhitungan berat jenis agregat kasar ini menggunakan data berupa berat benda uji dalam air (BA), berat benda uji dalam keadaan kering (BK), dan berat benda uji dalam keadaan jenuh (BJ). Pada pengujian yang dilakukan di laboratorium didapatkan hasil pengujian ini yaitu $2,59 \text{ gr/cm}^3$, yang mana angka tersebut sudah memenuhi persyaratan SNI 1969:2016 yaitu $\geq 2,5 \text{ gr/cm}^3$.

2. Penyerapan Agregat Kasar terhadap Air

Penyerapan agregat kasar terhadap air yaitu kemampuan air menyerap dari rongga dan pori agregat. Semakin besar atau banyak rongga yang dimiliki oleh agregat, maka nilai dari penyerapan airnya akan besar. Data yang didapatkan dari pengujian ini yaitu 1,62%, yang mana nilai tersebut sudah memenuhi persyaratan SNI 1969:2016 yaitu $\leq 3\%$.

3. Kelekatan Agregat terhadap Aspal

Kelekatan agregat kasar terhadap aspal yaitu besarnya persentase luasan agregat kasar pada permukaan yang terlapisi oleh aspal. Data yang dihasilkan dari pengujian ini yaitu 98%, yang mana nilai tersebut sudah memenuhi persyaratan SNI 2349:2011 yaitu $\geq 95\%$.

4. Keausan dengan Mesin *Los Angeles*

Abrasi atau uji keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles* dilakukan untuk melihat seberapa jauh agregat dapat menahan keausan. Nilai keausan tersebut didapat melalui perbandingan antara berat agregat aus lolos saringan No. 12 terhadap berat awal. Data yang dihasilkan dari pengujian ini yaitu 16,29 %, yang mana nilai tersebut sudah memenuhi persyaratan SNI 2417:2008 yaitu $\leq 40 \%$.

5.2.3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Penjelasan mengenai pengujian agregat halus adalah sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat Halus

Berat jenis agregat halus yaitu perbandingan berat antara agregat halus dalam keadaan jenuh (*Saturated Surface Dry*) dengan satuan volume terhadap berat air pada temperature tertentu. Perhitungan berat jenis agregat halus adalah $2,52 \text{ gr/cm}^3$ yang mana angka tersebut sudah memenuhi persyaratan SNI

1969:2016 yaitu $\geq 2,5 \text{ gr/cm}^3$. Hal ini menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan memiliki kualitas baik dan layak digunakan sebagai bahan campuran dalam perkerasan jalan.

2. Penyerapan Agregat Halus terhadap Air

Penyerapan agregat halus terhadap air yaitu kemampuan penyerapan air melalui rongga dan pori agregat. Nilai penyerapan air akan bertambah besar jika semakin banyak atau besar rongga yang dimiliki oleh agregat. Sehingga, agregat dengan pori yang lebih besar akan memerlukan lebih banyak aspal, karena tingkat penyerapannya juga lebih tinggi. Data yang dihasilkan dari pengujian ini adalah 2,48%, yang mana nilai tersebut sudah memenuhi persyaratan SNI 1970:2016 yaitu $\leq 3\%$.

3. *Sand Equivalent*

Sand equivalent yaitu prosedur pengujian yang bermaksud untuk mendapatkan persentase nilai kadar debu dan lumpur pada agregat halus. Kualitas campuran akan dipengaruhi oleh nilai kadar debu dan lumpur. Pada pengujian *sand equivalent* ini, hasil yang didapatkan yaitu sebesar 71,84%, yang berarti agregat halus yang digunakan bersih dan terbebas dari kotoran debu dan lumpur, serta telah memenuhi persyaratan SNI 3423:2008 yaitu sebesar $\geq 50\%$.

5.2.4 Hasil Pengujian Karakteristik bahan Pengisi (*Filler*)

Pengujian karakteristik *filler* dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik bahan pengisi dari suatu campuran aspal. Berikut pembahasan dari pengujian bahan pengisi yang dilakukan.

1. Pengujian Berat Jenis Debu Batu

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat volume agregat dengan volume air pada suhu tertentu. Nilai berat agregat yang terkandung dalam campuran mempengaruhi jumlah pori. Apabila material agregat memiliki nilai berat jenis yang tinggi, maka pori yang dihasilkan akan lebih sedikit. Hal tersebut berarti bahwa kebutuhan dari suatu aspal akan berkurang, begitupun sebaliknya. Dalam pengujian ini diperoleh nilai berat jenis *filler* debu batu sebesar 2,53.

2. Pengujian Berat Jenis Abu Arang Batok Kelapa (AABK)

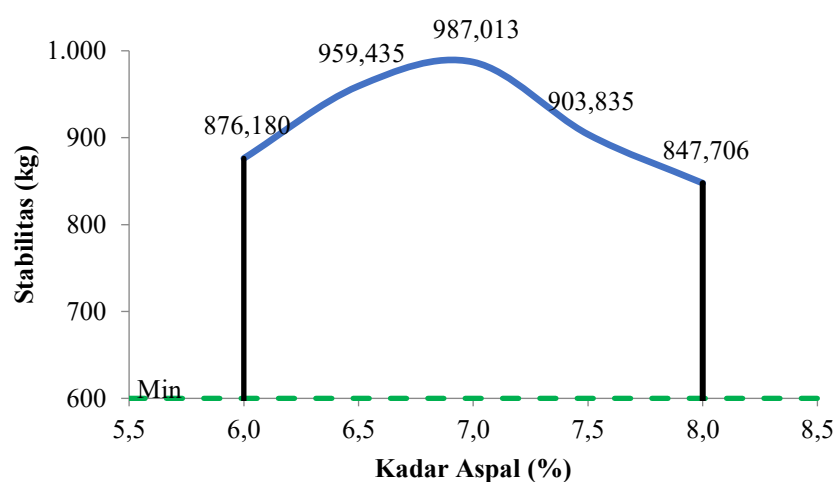
Berat jenis merupakan perbandingan antara berat satuan volume dari suatu material terhadap volume yang sama di dalam temperatur tertentu. Dalam pengujian ini diperoleh nilai berat jenis *filler* AABK sebesar 1,70.

Perbedaan berat jenis antara abu batu dan abu arang batok kelapa tersebut mempengaruhi rancangan campuran *HRS-WC*, karena *filler* dengan berat jenis lebih rendah akan menghasilkan volume yang lebih besar pada massa yang sama sehingga dapat menurunkan densitas campuran serta mempengaruhi kebutuhan kadar aspal untuk mencapai parameter *Marshall* yang sesuai. Maka dari itu diperlukan perhitungan penyetaraan volume agar mendapatkan berat sampel yang sesuai, sehingga komposisi *filler* tetap seimbang.

5.2.5 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Campuran untuk Menentukan KAO

1. Analisis Pengaruh Nilai Stabilitas untuk Menentukan KAO

Stabilitas merupakan kemampuan campuran aspal dalam menahan beban lalu lintas, cuaca, dan kondisi lingkungan lain tanpa mengalami deformasi yang berlebihan atau kerusakan struktural. Stabilitas dari suatu aspal berperan penting dalam memastikan jalan beraspal memiliki daya tahan yang panjang. Nilai stabilitas ditunjukkan pada Gambar 5.1 sebagai berikut.

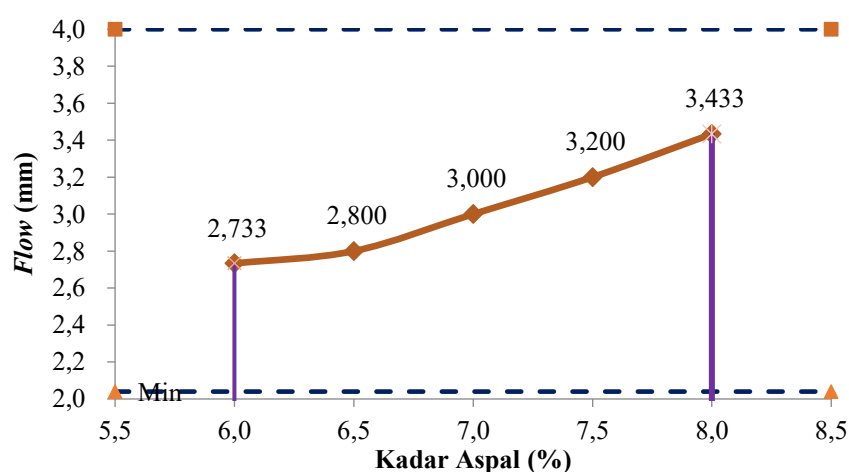


Gambar 5.1 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai Stabilitas

Pada Gambar 5.1 dapat dilihat bahwa nilai stabilitas suatu campuran meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Akan tetapi, setelah mencapai titik stabilitas tertinggi, nilai stabilitas mulai menurun. Titik optimum berada di kadar aspal 7% kemudian menurun. Meningkatnya suatu stabilitas bersamaan dengan meningkatnya kadar aspal, sampai batas optimum dan turun setelah melampaui batas optimum. Hal ini terjadi karena peningkatan kadar aspal menyebabkan lapisan aspal pada agregat semakin tebal. Akibatnya, gesekan antar butiran berkurang dan fungsi aspal berubah dari pengikat menjadi pelicin antar agregat. Berdasarkan persyaratan Bina Marga 2018 Revisi ke-2, nilai stabilitas minimum untuk campuran *HRS - WC* ditetapkan sebesar 600 kg. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada kadar aspal 6,0% hingga 8,0%, nilai stabilitas yang diperoleh sudah memenuhi batas minimal tersebut.

2. Analisis Pengaruh Nilai *Flow* untuk Menentukan KAO

Flow merupakan indikator besarnya perubahan bentuk atau deformasi pada campuran aspal ketika menerima beban. Parameter ini termasuk salah satu aspek penting dalam menilai kinerja campuran aspal, khususnya pada konstruksi perkerasan jalan. Nilai *flow* dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.

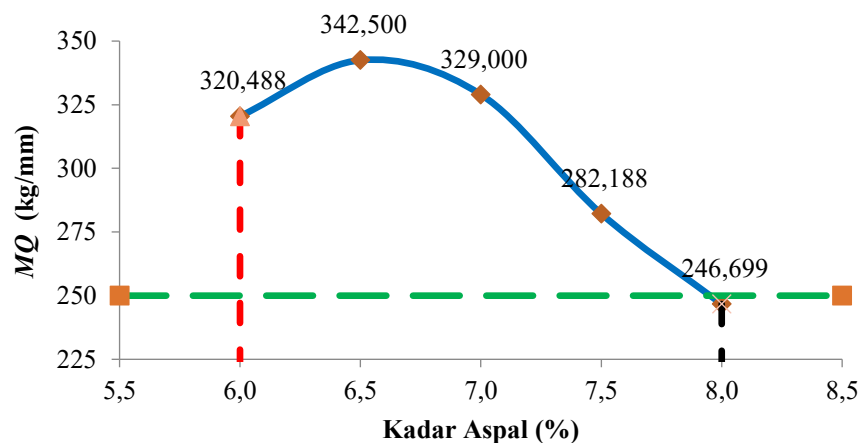


Gambar 5.2 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *Flow*

Pada Gambar 5.2 menunjukkan bahwa nilai *flow* meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal, hal ini disebabkan oleh semakin tebalnya lapisan aspal yang menyelimuti agregat. Kenaikan kadar aspal menyebabkan nilai *flow* campuran bertambah, yang berdampak pada meningkatnya sifat plastis campuran. Akibatnya, campuran lebih mudah mengalami deformasi ketika menerima beban. Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, rentang nilai *flow* yang dipersyaratkan adalah 2–4 mm. Hasil pengujian pada kadar aspal 6,0% hingga 8,0% telah memenuhi persyaratan minimum tersebut.

3. Analisis Pengaruh Nilai *MQ* untuk Menentukan KAO

MQ merupakan perbandingan antara nilai stabilitas dengan *flow*, yang digunakan sebagai pendekatan untuk menilai tingkat kekakuan serta fleksibilitas suatu campuran. Semakin tinggi nilai *MQ* menunjukkan campuran semakin kaku, sedangkan semakin rendah nilainya menandakan campuran lebih lentur. Nilai *MQ* hasil pengujian ditampilkan pada Gambar 5.3 berikut.



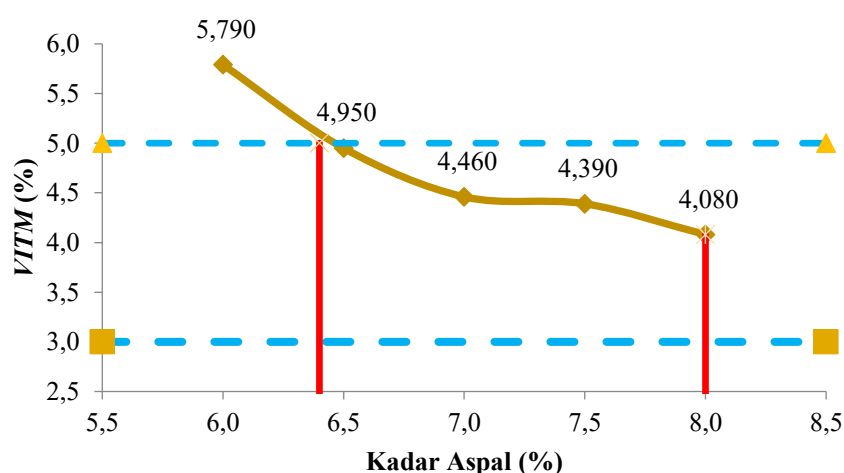
Gambar 5.3 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *MQ*

Pada Gambar 5.3 memperlihatkan bahwa nilai *MQ* cenderung menurun seiring bertambahnya kadar aspal. Kondisi ini dipengaruhi oleh struktur serta komposisi campuran aspal–agregat. Peningkatan kadar aspal mengakibatkan nilai *flow* meningkat, yang berarti campuran lebih mudah mengalami

deformasi saat menerima beban. Nilai *flow* yang tinggi mencerminkan berkurangnya ketahanan terhadap beban, sehingga *MQ* menurun. Selain itu, pada kadar aspal yang berlebihan, interaksi antar partikel agregat berkurang sehingga gesekan dan kekuatan struktural campuran menurun. Akibatnya, kestabilan campuran berkurang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *MQ* pada kadar aspal 6,0%–7,5% memenuhi batas minimum sesuai persyaratan. Akan tetapi pada kadar 8%, nilai *MQ* tidak memenuhi persyaratan, dikarenakan nilai kadar aspal tersebut semakin tinggi yang berarti nilai perbandingan stabilitas dengan *flow* terlalu kecil sehingga campuran menjadi terlalu plastis dan tidak mampu menahan beban lalu lintas secara efektif.

4. Analisis Pengaruh Nilai *VITM* untuk Menentukan KAO

VITM merupakan persentase yang menggambarkan perbandingan antara volume rongga udara dengan volume total campuran setelah proses pemadatan. Pada pengujian yang dilakukan, Nilai *VITM* cenderung menurun seiring dengan bertambahnya kadar aspal, karena ruang kosong di antara agregat semakin terisi aspal. Nilai *VITM* hasil pengujian ditampilkan pada Gambar 5.4 berikut.

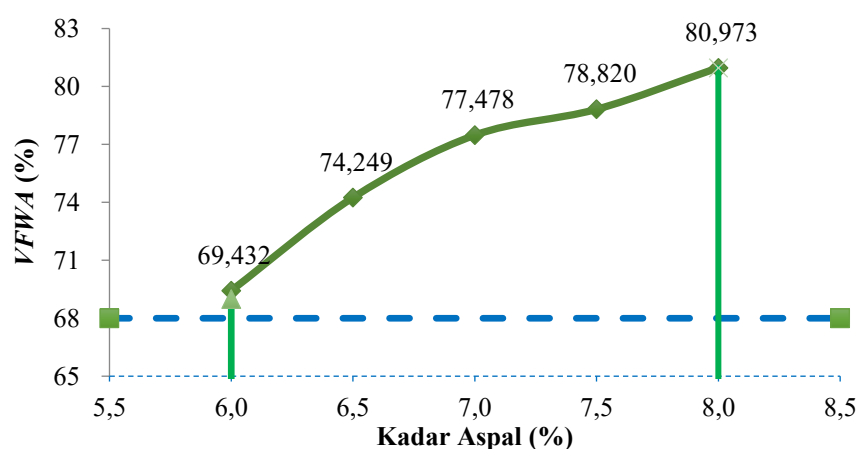


Gambar 5.4 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *VITM*

Pada Gambar 5.4 memperlihatkan bahwa nilai *VITM* cenderung menurun seiring dengan peningkatan kadar aspal. Penurunan ini disebabkan oleh semakin banyaknya aspal yang mengisi rongga antar agregat (*VFWA*), sehingga volume rongga dalam campuran berkurang. Pada kadar aspal 6 %, campuran tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yang menetapkan nilai *VITM* untuk campuran *HRS-WC* berada dalam kisaran 3%–5%. Hal tersebut dikarenakan rongga yang ada pada campuran lebih sedikit terisi aspal, sehingga menyisakan rongga-rongga lainnya yang tidak terisi oleh aspal. Dengan bertambahnya kadar aspal, nilai *VITM* semakin menurun, menjadikan campuran lebih kedap terhadap air dan udara. Kondisi ini dapat mempercepat proses oksidasi sehingga aspal menjadi rapuh.

5. Analisis Pengaruh *VFWA* untuk Menentukan KAO

VFWA memiliki hubungan berbanding terbalik dengan *VITM*. Nilai *VFWA* meningkat seiring bertambahnya kadar aspal, karena rongga dalam campuran semakin banyak terisi aspal. Secara definisi, *VFWA* merupakan persentase volume rongga dalam campuran (*VMA*) yang terisi aspal di antara partikel agregat. Faktor lain seperti temperatur, jumlah lintasan pemadatan, kadar aspal, dan gradasi agregat berpengaruh terhadap besarnya nilai *VFWA*. Nilai *VFWA* hasil pengujian ditampilkan pada Gambar 5.5 berikut.

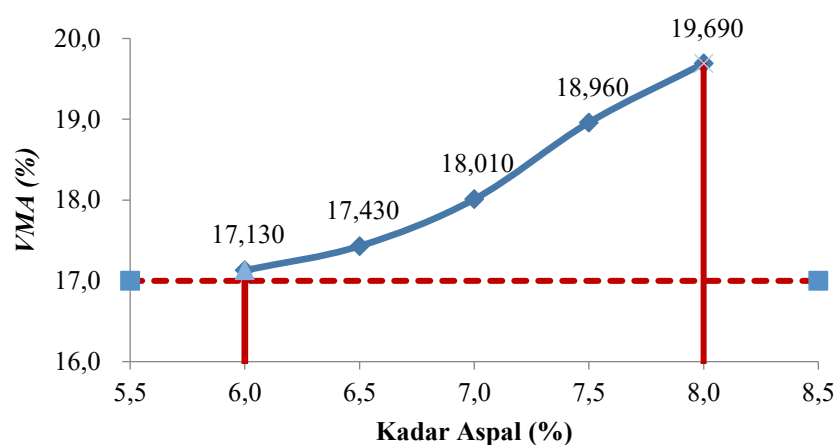


Gambar 5.5 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *VFWA*

Pada Gambar 5.5 memperlihatkan bahwa nilai *VFWA* cenderung naik seiring dengan peningkatan kadar aspal. Kenaikan ini disebabkan banyaknya rongga campuran yang terisi aspal. Nilai *VFWA* pada kadar 6% sampai dengan 8% telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yang menetapkan nilai *VFWA* untuk campuran *HRS-WC* dengan syarat minimal 68%. Hal tersebut dikarenakan kadar aspal yang diberikan telah mengisi secara optimal rongga-rongga pada campuran.

6. Analisis Pengaruh *VMA* untuk Menentukan KAO

VMA merupakan ukuran volume rongga yang ada di dalam agregat mineral dan terisi oleh aspal yang dinyatakan dalam persentase. *VMA* ditentukan berdasarkan berat jenis bulk agregat dan dinyatakan dalam persentase terhadap volume bulk campuran yang telah dipadatkan. Besarnya nilai *VMA* dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain tingkat pemadatan, jumlah tumbukan dan suhu pemadatan, distribusi gradasi agregat, serta kadar aspal yang digunakan. Nilai *VMA* pada pengujian ini ditampilkan pada Gambar 5.6 berikut.



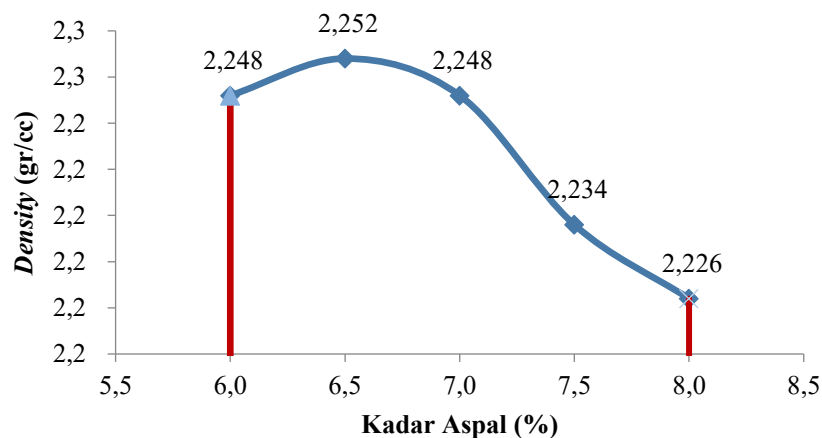
Gambar 5.6 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *VMA*

Pada Gambar 5.6 tersebut dapat dilihat bahwa nilai *VMA* meningkat dengan seiring bertambahnya kadar aspal. Hal tersebut dikarenakan kadar aspal yang semakin banyak dapat menyelimuti agregat dan mengisi rongga. Pada

campuran dengan kadar 6%-8%, memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga 2018 Revisi ke-2, yaitu syarat batas minimum nilai *VMA* untuk campuran *HRS-WC* adalah 17%. Dengan bertambahnya kadar aspal akan menaikkan nilai *VMA* yang terdapat pada campuran. Hal tersebut dikarenakan semakin tebal aspal yang menyelimuti agregat yang berakibat pada jarak rongga antara agregat yang semakin besar. Nilai *VMA* dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi lentur.

7. Analisis Pengaruh *Density* untuk Menentukan KAO

Kepadatan merupakan kerapatan dari hasil sebuah campuran setelah dilakukan pemadatan di laboratorium maupun di lapangan. Seberapa rapat rongga pada perkerasan jalan dipengaruhi oleh jenis agregat yang dipakai, kualitas bahan, dan banyaknya aspal dalam campuran. Nilai *Density* hasil pengujian ditampilkan pada Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.7 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *Density*

Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai *density* cenderung menurun setelah melewati kadar aspal optimum karena sifat gradasi senjang. Penambahan aspal pada awalnya meningkatkan kepadatan dengan mengisi rongga antar agregat, tetapi ketika aspal berlebih, agregat akan kehilangan *interlock*. Pada grafik tersebut, dari kadar 6% sampai 8%, telah memenuhi

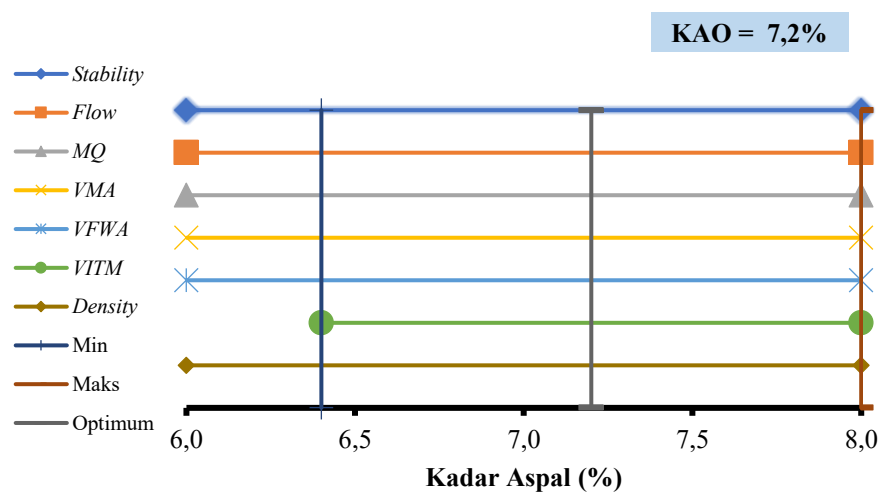
spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi ke-2 yaitu dengan nilai minimal *density* sebesar 2 gr/cc.

Berikut merupakan hasil pengujian untuk menentukan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Marshall *HRS-WC* Senjang

Kadar Abu Batok Kelapa (%)	<i>Density</i> (gr/cc)	<i>VMA</i> (%)	<i>VFWA</i> (%)	<i>VITM</i> (%)	Stabilitas (kg)	<i>Flow</i> (mm)	<i>MQ</i> (kg/mm)
0	2,248	17,130	69,432	5,790	876,180	2,733	320,554
25	2,252	17,430	74,249	4,950	959,435	2,800	342,655
50	2,248	18,010	77,478	4,460	987,013	3,000	329,004
75	2,234	18,960	78,820	4,390	903,835	3,200	282,448
100	2,226	19,690	80,973	4,080	847,706	3,433	246,905
Spesifikasi	-	≥17	≥68	3 - 5	≥ 600	2 - 4	≥ 250

Grafik pengujian karakteristik *Marshall Standard* untuk campuran *HRS-WC* bergradasi senjang dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.



Gambar 5.8 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Substitusi *Filler* AABK

Pada Gambar 5.8 dapat dilihat bahwa KAO yang digunakan untuk variasi substitusi *filler* yaitu 7,2%. Pada pengujian ini menggunakan *filler* abu arang batok kelapa sebagai substitusi *filler* abu batu, yang dimana keduanya

memiliki berat jenis yang berbeda. Setelah dilakukan pengujian untuk kedua berat jenis tersebut memiliki besaran yang berbeda. *Filler* abu batu clereng yang digunakan sebesar 2,53, sedangkan untuk *filler* abu arang batok kelapa sebesar 1,70. Maka dari itu, untuk mendapatkan BJ yang seimbang dilakukan pengolahan data. Hasil rekapitulasi untuk perbandingan masing-masing *filler* dapat dilihat pada Tabel 5.6 sebagai berikut.

Tabel 5.6 Berat Abu Batu dan Berat Abu Arang Batok Kelapa

Kadar Variasi Substitusi <i>Filler</i> (%)	Berat Debu Batu (gr)	Berat Debu AABK (gr)	Kadar Aspal Optimum (%)
0	89,088	0,000	7,2
25	68,816	14,948	
50	44,544	29,895	
75	22,272	44,843	
100	0,000	59,791	

Pada berat hasil di atas, perhitungan perbandingan volume berat jenis yang dilakukan antara kedua *filler* agar mendapatkan volume yang setara adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat AABK kadar 25\%} &= \frac{(\text{BJ AABK} \times (\text{Berat Abu Clereng kadar 0\%} \times 25\%))}{\text{BJ Abu Clereng}} \\
 &= \frac{(1,7 \times (89,088 \times 25\%))}{2,53} \\
 &= 14,948 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

dengan:

$$\text{BJ Abu Clereng} = 2,53$$

$$\text{BJ AABK} = 1,70$$

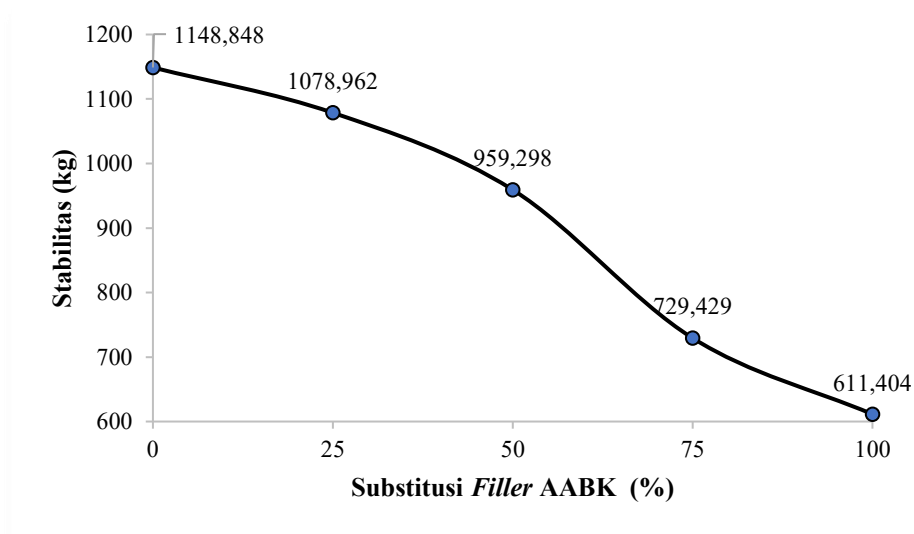
5.2.6 Pembahasan Pengujian *MS* pada KAO dengan *Filler* AABK

Karakteristik *MS* merupakan parameter dalam menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO). Nilai stabilitas, *Flow*, *MQ*, *VFWA*, *VITM*, *VMA* dan *Density* merupakan nilai yang dilihat dari hasil pengujian campuran *HRS-WC* dalam

menentukan KAO. Penentuan KAO harus mempertimbangkan keseimbangan dari seluruh parameter tersebut agar campuran yang dihasilkan memiliki kinerja yang baik. Kadar aspal yang terlalu rendah menyebabkan campuran rapuh dan mudah retak, sedangkan kadar aspal yang terlalu tinggi membuat campuran plastis dan rentan terhadap deformasi permanen (*rutting*). Berikut pembahasan nilai karakteristik *Marshall* secara rinci.

1. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai Stabilitas

Stabilitas didapatkan melalui interaksi antarbutir agregat yang saling mengunci dengan bantuan aspal sebagai pengikat. Daya lekat aspal berperan dalam mempertahankan ikatan antarbutir agregat. Stabilitas yang optimal akan tercapai pada KAO, di mana jumlah aspal cukup untuk melapisi agregat. Nilai stabilitas campuran dengan menggunakan KAO dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.



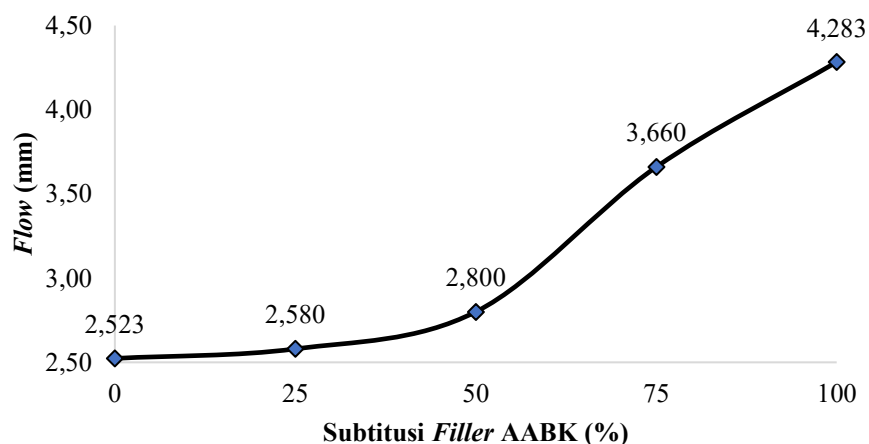
Gambar 5.9 Grafik Pengaruh AABK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap Nilai Stabilitas

Berdasarkan Gambar 5.9, penambahan *filler* abu arang batok kelapa dalam campuran *HRS-WC* menunjukkan penurunan stabilitas seiring dengan meningkatnya kadar *filler* dari 0% hingga 100%. Hal ini berarti bahwa jumlah *filler* abu arang batok kelapa yang berlebihan dapat mengurangi kualitas stabilitas campuran. Hal tersebut juga dikarenakan perbedaan berat jenis *filler*

yang digunakan, yaitu berat jenis *filler* AABK lebih ringan daripada berat jenis debu clereng. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan *filler* abu arang batok kelapa dalam jumlah berlebih tidak meningkatkan kualitas campuran, justru menurunkan stabilitas. Hal tersebut terjadi karena aspal tidak mampu berinteraksi optimal dengan agregat akibat dominasi *filler*, sehingga mengurangi adanya *interlock* antara aspal dengan *filler* abu arang batok kelapa yang digunakan. Pengujian ini selaras dengan penelitian Kumitadkk (2025), Nilai stabilitas mengalami penurunan secara signifikan dari penambahan *filler* abu tempurung kelapa pada gradasi AC-WC kadar 0% yaitu dengan nilai stabilitas 1425 kg, kadar 15% dengan nilai stabilitas 1410 kg, kadar 30% dengan nilai stabilitas 1391 kg, kadar 45% dengan nilai stabilitas 1293 kg dan kadar 60% dengan kadar 1298 kg. Penurunan tersebut masih sesuai dengan pedoman pada Bina Marga 2018 Revisi ke 2 dengan nilai stabilitas minimal yaitu 800 kg. Sedangkan Pada pengujian yang penulis lakukan juga memenuhi spesifikasi untuk *HRS-WC* yaitu dengan nilai stabilitas 600 kg.

2. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *Flow*

Grafik hasil nilai *flow* akibat pengaruh substitusi *filler* AABK dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.

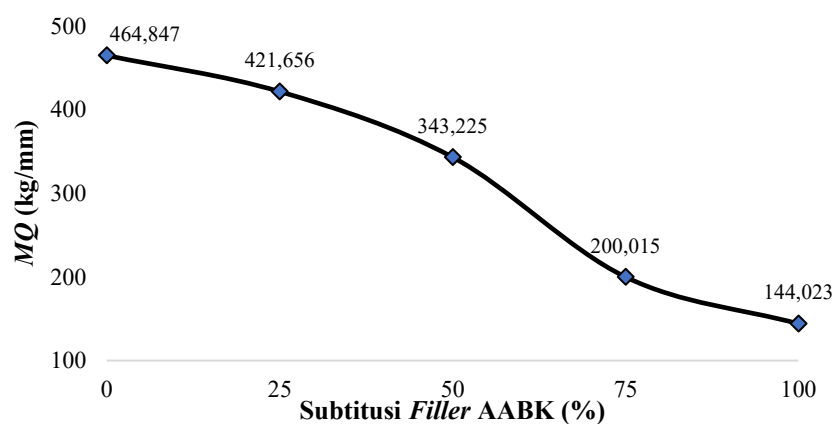


Gambar 5.10 Grafik Pengaruh AABK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *Flow*

Berdasarkan Gambar 5.10 dapat dilihat nilai *flow* meningkat seiring dengan bertambahnya banyak kadar *filler* pengganti yang digunakan . Hal tersebut diartikan semakin banyak kadar *filler* abu arang batok kelapa yang dipakai, maka kepadatannya juga akan semakin meningkat. Pengujian ini selaras dengan penelitian Kumita dkk (2025), Nilai *flow* mengalami peningkatan secara signifikan dari penambahan *filler* abu tempurung kelapa pada gradasi AC-WC kadar 0% yaitu dengan nilai *flow* 3,55 mm, kadar 15% dengan nilai *flow* 3,58 mm, kadar 30% dengan nilai *flow* 3,69 mm , kadar 45% dengan nilai *flow* 3,74 mm dan kadar 60% dengan nilai *flow* 3,77 mm. Sedangkan pengujian yang dilakukan penulis, nilai *flow* mengalami kenaikan secara signifikan. Akan tetapi nilai *flow* pada kadar substitusi *filler* AABK pada kadar 100% tidak memenuhi standar Bina Marga 2018 Revisi ke 2 yaitu dengan nilai 4,283 mm. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun nilai *flow* meningkat dengan penambahan *filler* AABK, stabilitas material tidak tercapai dengan baik pada kadar substitusi penuh, karena tidak memenuhi standar stabilitas yang diharapkan.

3. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *Marshall Quotient* (*MQ*)

Grafik hasil nilai *MQ* akibat pengaruh substitusi *filler* AABK dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.

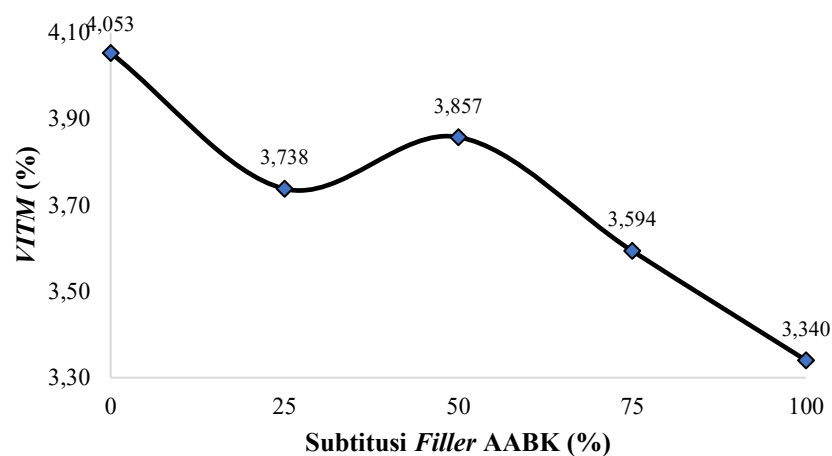


Gambar 5.11 Grafik Pengaruh AABK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *MQ*

Berdasarkan Gambar 5.11, terlihat bahwa nilai MQ mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya jumlah kadar *filler* abu arang batok kelapa yang digunakan. Pada grafik di atas, nilai MQ mengalami penurunan yang signifikan dari penambahan *filler* AABK kadar 0% hingga 100%. Akan tetapi penambahan *filler* di kadar 75% dan kadar 100% tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi ke-2, yaitu dengan nilai MQ minimal pada angka 250 kg/mm. Ketika kadar *filler* pengganti lebih sedikit, nilai MQ yang diperoleh cukup tinggi, yang membuat campuran menjadi lebih kaku. Sebaliknya, dengan penambahan kadar *filler* pengganti yang lebih banyak, nilai MQ cenderung rendah. Pengujian ini selaras dengan penelitian Kumita dkk (2025), Nilai MQ mengalami penurunan secara signifikan dari penambahan *filler* abu tempurung kelapa pada gradasi $AC-WC$ kadar 0% yaitu dengan nilai MQ 404,9 mm, kadar 15% dengan nilai MQ 400,4 mm, kadar 30% dengan nilai MQ 378,2 mm, kadar 45% dengan nilai MQ 347,2 mm dan kadar 60% dengan nilai MQ 346 mm.

4. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *Void in The Mix (VITM)*

Grafik hasil nilai $VITM$ akibat pengaruh substitusi *filler* AABK dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.

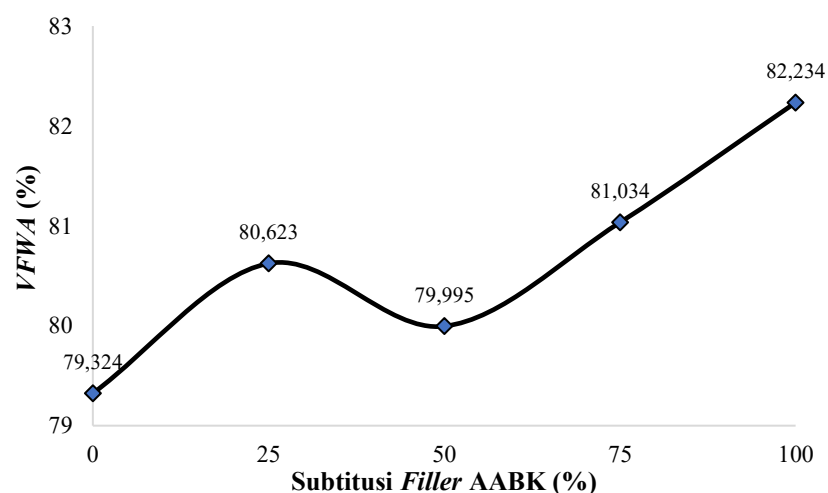


Gambar 5.12 Grafik Pengaruh AABK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap Nilai $VITM$

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.12 , dapat dilihat bahwa nilai *VITM* semakin turun dengan tidak signifikan seiring bertambah jumlah kadar *filler* abu arang batok kelapa. Hal ini dikarenakan lebih banyak aspal yang mengisi rongga dalam campuran, akibatnya rongga udara yang tersisa berkurang. Nilai *VITM* mengalami penurunan pada substitusi kadar *filler* 0% hingga 25%, kemudian naik pada kadar 50% dan turun kembali di kadar 75% hingga 100%. Peningkatan pada kadar 50% menunjukkan bahwa rongga dalam campuran lebih besar, dan pada kadar selanjutnya nilai *VITM* menurun dengan rongga udara yang berkurang. Pengujian ini selaras dengan penelitian Kumita dkk (2025), Nilai *VITM* mengalami penurunan tidak signifikan dari penambahan *filler* abu tempurung kelapa pada gradasi *AC-WC* kadar 0% yaitu dengan nilai *VITM* 4,4 %, kadar 15% dengan nilai *VITM* 4,3 %, kadar 30% dengan nilai *VITM* 4,2 % , kadar 45% dengan nilai *VITM* 4,2 % dan kadar 60% dengan nilai *VITM* 4,2 %.

5. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *Void Filled with Asphalt* (*VFWA*)

Grafik hasil nilai *VFWA* akibat pengaruh substitusi *filler* AABK dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut.

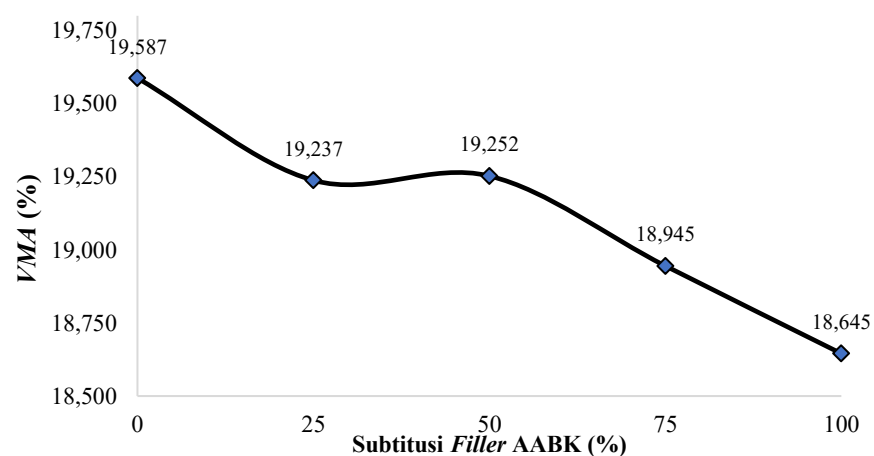


Gambar 5.13 Grafik Pengaruh AABK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *VFWA*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.13 dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya jumlah kadar *filler* pengganti, nilai *VFWA* yang didapatkan semakin naik. Hal tersebut menyebabkan aspal lebih sedikit mengisi *void* yang ada dan juga selimut aspal menjadi lebih tipis. Nilai *VFWA* mengalami kenaikan pada substitusi kadar *filler* 0% hingga 25%, kemudian turun pada kadar 50% dan naik kembali di kadar 75% hingga 100%. Penurunan pada kadar 50% menunjukkan bahwa hal tersebut dikarenakan dengan penambahan kadar *filler* AABK yang kurang efektif mengisi rongga-rongga dalam campuran. Dalam grafik tersebut, nilai *VFWA* yang dihasilkan dengan kadar substitusi AABK 25% hingga 100% memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi ke-2, yaitu dengan nilai minimal 68%. Pengujian ini selaras dengan penelitian Kumita dkk (2025), Nilai *VFWA* mengalami kenaikan tidak signifikan dari penambahan *filler* abu tempurung kelapa pada gradasi *AC-WC* kadar 0% yaitu dengan nilai *VFWA* 72,6 %, kadar 15% dengan nilai *VFWA* 73 %, kadar 30% dengan nilai *VFWA* 73,3 %, kadar 45% dengan nilai *VFWA* 73,2 % dan kadar 60% dengan nilai *VFWA* 73,6 %.

6. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *Void Mineral Agregate (VMA)*

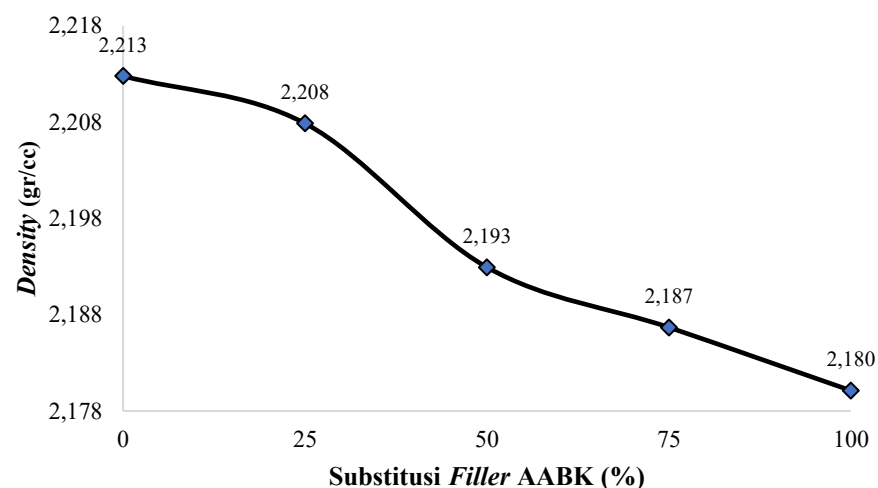
Grafik hasil nilai *VMA* akibat pengaruh substitusi *filler* AABK dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.



Gambar 5.14 Grafik Pengaruh AABK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *VMA*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.14 , dapat dilihat bahwa nilai *VMA* pada campuran *HRS-WC* tersebut menurun dengan seiring bertambahnya jumlah *filler* pengganti yang digunakan. Pada pengujian tersebut nilai *VMA* mengalami penurunan tidak signifikan. Dari penurunan tersebut nilai yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi ke-2 yaitu dengan nilai *VMA* minimal 18%. Nilai *VMA* mengalami penurunan pada substitusi kadar *filler* 0% hingga 25%, kemudian naik pada kadar 50% dan turun kembali di kadar 75% hingga 100%. Peningkatan pada kadar 50% menunjukkan bahwa rongga yang berkurang dalam campuran kurang efektif. Pengujian ini selaras dengan penelitian Kumita dkk (2025), Nilai *VMA* mengalami penurunan yang tidak signifikan dari penambahan *filler* abu tempurung kelapa pada gradasi *AC-WC* kadar 0% yaitu dengan nilai *VMA* 16 %, kadar 15% dengan nilai *VMA* 15,9 %, kadar 30% dengan nilai *VMA* 15,8 %, kadar 45% dengan nilai *VMA* 15,8 % dan kadar 60% nilai *VMA* 15,8 %.

7. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *Density*
Grafik hasil nilai *density* akibat pengaruh substitusi *filler* AABK dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.



Gambar 5.15 Grafik Pengaruh AABK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *Density*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.15, dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya jumlah kadar *filler* pengganti yang digunakan pada campuran *HRS-WC* maka kepadatan yang didapatkan cenderung menurun. Hal ini disebabkan dengan terbentuknya rongga baru pada campuran dengan *filler* abu arang batok kelapa sebagai akibat dari berubahnya kondisi saling mengunci antar agregat yang dikarenakan oleh semakin meningkatnya viskositas aspal dan perbedaan berat jenis kedua *filler* tersebut. Sehingga dengan berat yang sama kedua macam *filler* tersebut memiliki volume yang berbeda, hal ini menyebabkan butiran pengisi pada campuran dengan *filler* arang abu batok kelapa berjumlah lebih banyak. Dari pengujian yang dilakukan penambahan *filler* abu arang batok kelapa dari kadar 0% hingga 100% telah memenuhi spesifikasi Bina Marga Revisi ke 2 yaitu dengan nilai *Density* minimal 2 gr/cc. Pengujian ini selaras dengan penelitian Kumita dkk (2025), Nilai *Density* mengalami penurunan tetapi selisih nilai dari kadar 0% sampai 100% cenderung sedikit seperti hasil pengujian yang dilakukan penulis.

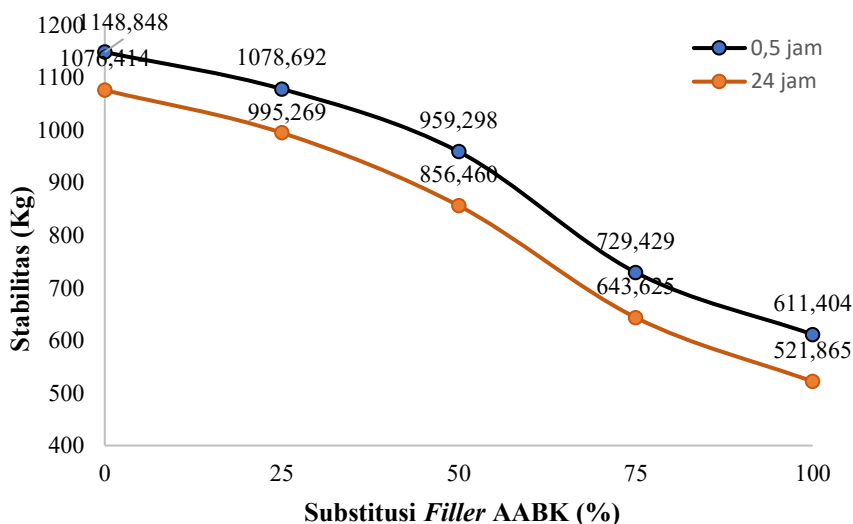
5.2.7 Pembahasan Pengujian *IRS* pada KAO dengan *Filler* AABK

1. Pengaruh Kadar *Filler* terhadap Nilai Stabilitas Rendaman

Uji *Immersion* atau uji perendaman pada prinsipnya serupa dengan uji Marshall Standar, dengan perbedaan terletak pada lama waktu perendaman dalam *waterbath*. Pada pengujian *Immersion*, benda uji direndam selama 24 jam pada suhu konstan 60°C. Perbandingan nilai stabilitas antara perendaman selama 0,5 jam dan 24 jam disajikan pada Tabel 5.7, sedangkan hasil dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian *Index of Retained Strength*

Kadar <i>Filler</i> %	Lama Perendaman		<i>Indeks of Retained Strength</i> (%)
	0,5 Jam	24 Jam	
0%	1148,85	1076,41	93,70%
25%	1078,69	995,27	92,27%
50%	959,30	856,46	89,28%
75%	729,43	643,42	88,24%
100%	611,40	521,86	85,36%



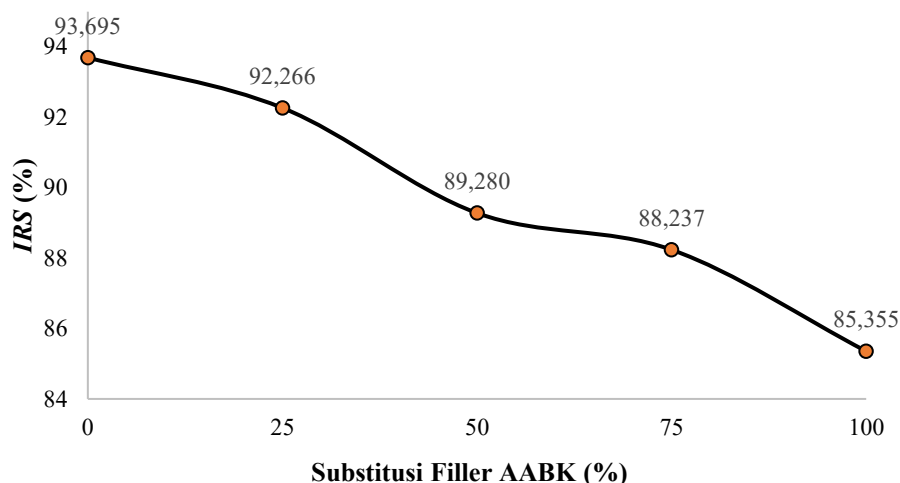
Gambar 5.16 Grafik Pengaruh AABK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *IRS*

Berdasarkan Gambar 5.16 di atas, dapat dilihat bahwa nilai stabilitas pada rendaman 24 jam cenderung lebih rendah apabila dibandingkan dengan stabilitas pada Marshall standar. Campuran pada kadar *filler* abu arang batok kelapa 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% terjadi penurunan sebesar 6,30%, 12,20%, 17,32%, 20,59%, dan 23,42%. Hal tersebut dapat diartikan bahwa dengan penggunaan kadar *filler* abu arang batok kelapa yang semakin bertambah dapat mempengaruhi sensitivitas campuran, dapat dilihat dari penurunan stabilitas yang semakin besar seiring bertambahnya kadar *filler* Abu Arang Batok Kelapa, berarti *filler* abu arang batok kelapa memiliki durabilitas terhadap suhu yang kurang baik dibanding *filler* Clereng. Hal tersebut dapat terjadi karena proses rendaman yang mencapai waktu 24 jam menyebabkan air masuk ke dalam pori campuran sehingga dapat mengurangi ikatan adhesi antara aspal dan agregat.

2. Pengaruh Kadar *Filler* terhadap *IRS*

Perendaman pada *IRS* dilakukan dengan tujuan untuk menilai durabilitas suatu campuran, yaitu mengevaluasi tingkat keawetan campuran setelah direndam selama 24 jam pada suhu 60°C dibandingkan dengan perendaman

selama 0,5 jam. Perbandingan hasil nilai stabilitas antara perendaman 0,5 jam dan 24 jam dalam *waterbath* disajikan sebagai berikut.

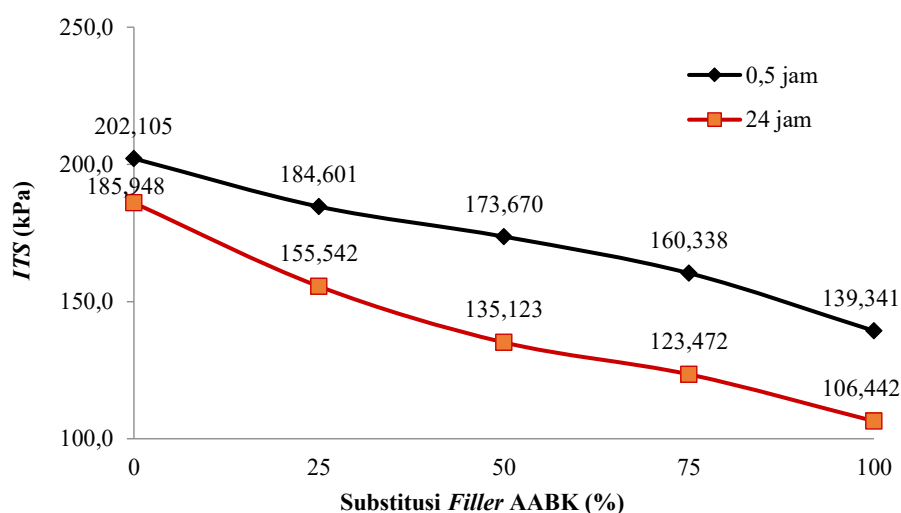


Gambar 5.17 Grafik Nilai Pengaruh Kadar Aspal Terhadap IRS

Berdasarkan Grafik pada Gambar 5.17, dapat dilihat bahwa nilai *IRS* semakin menurun seiring bertambahnya variasi kadar *filler* AABK. Pada kadar *filler* 0%, 25%, 50%, 75%, 100%, didapatkan nilai *IRS* sebesar 93,695%, 92,266%, 89,280%, 88,237%, 85,355%. Penurunan nilai *IRS* pada substitusi *filler* AABK dengan kadar 0% hingga 100% dikarenakan oleh abu arang batok kelapa yang memiliki berat jenis lebih rendah dibandingkan dengan pasir clereng, sehingga campuran akan lebih berpori dengan nilai kerapatan dan kepadatan lebih rendah yang mengakibatkan air dengan mudah untuk masuk dan merusak ikatan antara agregat dengan aspal. Hal ini sejalan juga dengan Rudi (2023) Dalam penelitiannya, bahwa untuk nilai stabilitas bahan pengisi Abu Batu Apung untuk perendaman 24 jam mengalami penurunan terhadap nilai stabilitas yang diperoleh untuk perendaman 30 menit pada suhu yang sama. Faktor penurunan pada nilai stabilitas untuk setiap variasi perendaman *filler* abu batu apung dengan suhu air perendam 60°C yaitu air menyebabkan aspal menjadi teroksidasi yang mengakibatkan ikatan agregat pada aspal menjadi lepas, sehingga nilai stabilitas pada campuran aspal menurun.

5.2.8 Pembahasan Pengujian *ITS* pada KAO dengan *Filler* AABK

ITS merupakan pengujian untuk mengetahui nilai gaya tarik tidak langsung dari suatu campuran akibat beban lalu lintas yang melaluinya. Nilai *ITS* menunjukkan batas maksimum beban lalu lintas yang dapat ditahan campuran sebelum retak akibat kegagalan tarik. Penentuan nilai *ITS* yang akurat sangat penting untuk memastikan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan. Nilai *ITS* ini digunakan sebagai indikator dalam perencanaan dan perancangan jalan, yang diperuntukkan untuk menghindari terjadinya kerusakan pada struktur jalan akibat beban lalu lintas yang berlebihan. Berikut merupakan hasil nilai *ITS* pada campuran *HRS-WC* yang menggunakan *filler* pengganti berupa abu arang batok kelapa, dapat dilihat pada Gambar 5.18.



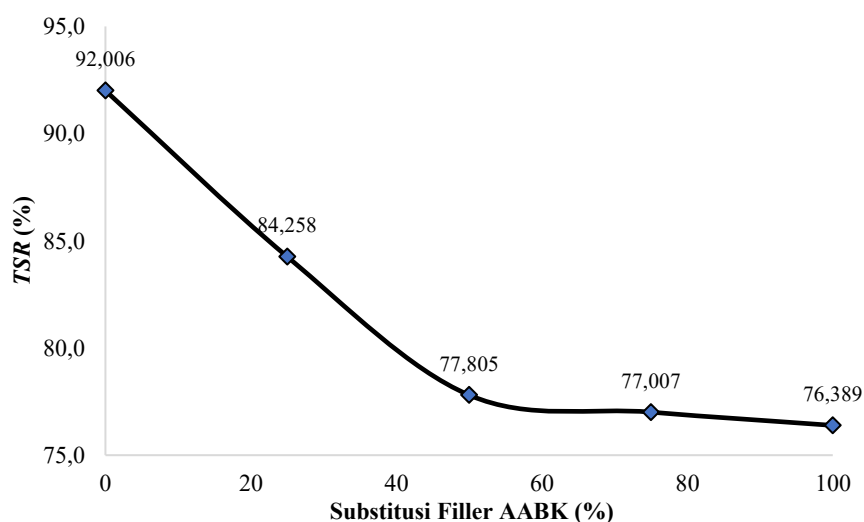
Gambar 5.18 Grafik Pengaruh AABK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *ITS*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.18, dapat dilihat bahwa nilai *Indirect Tensile Strength* dalam campuran *HRS-WC*, *ITS* mengalami penurunan seiring kadar variasi *Filler* bertambah. Ini dapat diartikan bahwa campuran *HRS-WC* menggunakan substitusi *Filler* Abu Arang Batok Kelapa memiliki kemampuan lebih buruk dalam menahan gaya tarik apabila dibandingkan dengan *Filler* Clereng. Penelitian ini sesuai dengan studi yang dilakukan oleh Rasyid, dkk (2024) bahwa dari hasil analisis pada pengujian *Indirect Tensile Strength* dengan penambahan abu

ampas sagu 0%, 1%, 2%, 3% dan 4% terhadap sifat penuaan yaitu apabila penambahan melebihi batas maksimum penambahan abu ampas sagu maka semakin rendah kuat tarik yang dihasilkan. Penurunan nilai *Indirect Tensile Strength* ini menunjukkan bahwa penggunaan AABK sebagai *filler* dalam campuran *HRS-WC* tidak efektif dalam meningkatkan kekuatan tarik jika dibandingkan dengan *filler* Clereng.

5.2.9 Pembahasan Pengujian *TSR* pada KAO dengan *Filler* AABK

TSR merupakan parameter yang digunakan untuk menilai ketahanan campuran aspal terhadap kelembaban atau pengaruh air. Nilai *TSR* merepresentasikan besarnya pengaruh air terhadap kekuatan tarik campuran aspal melalui perbandingan antara kekuatan tarik sampel dalam kondisi kering dan kondisi basah. Pengujian dilakukan dengan cara merendam benda uji selama 24 jam dalam *waterbath* pada suhu 60°C, kemudian dibandingkan dengan sampel yang mengalami perendaman *waterbath* selama 30 menit. Grafik nilai *TSR* akibat pengaruh substitusi *filler* Abu Arang Batok Kelapa ditunjukkan pada Gambar 5.19 berikut.



Gambar 5.19 Grafik Pengaruh AABK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *TSR*

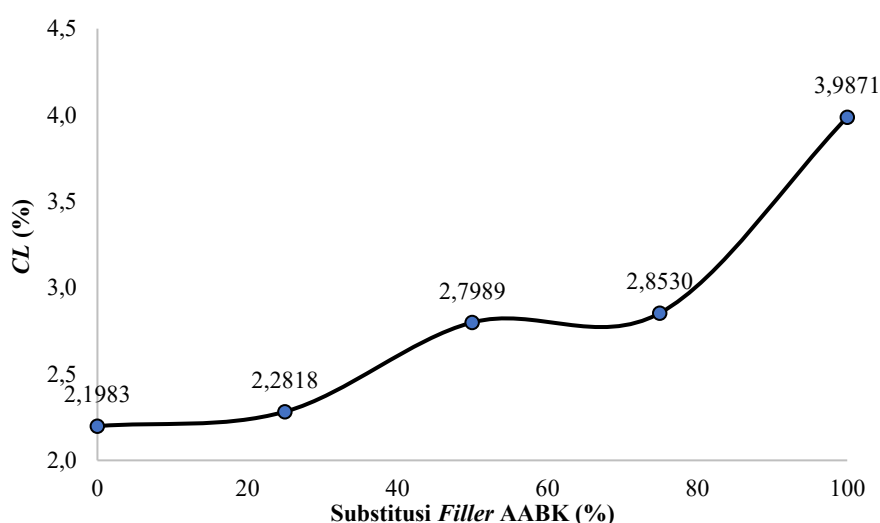
Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.19, terlihat bahwa penggunaan *filler* abu arang batok kelapa menyebabkan nilai *TSR* mengalami penurunan seiring

dengan meningkatnya kadar variasi substitusi *filler*. Penurunan ini terjadi karena sifat *filler* tersebut yang memiliki daya serap tinggi terhadap aspal. Semakin banyak aspal yang terserap oleh *filler*, semakin sedikit aspal yang tersisa untuk membentuk ikatan kuat dengan agregat. Kondisi ini menjadikan campuran lebih rentan terhadap pengaruh kelembapan dan air. Pada kondisi basah, air dapat lebih mudah masuk ke dalam campuran, melemahkan ikatan antara aspal dan agregat, sehingga nilai *TSR* menurun. Dengan demikian, ketahanan campuran *HRS-WC* terhadap kerusakan akibat air menjadi lebih rendah. Akibatnya, nilai *TSR* semakin menurun yang menunjukkan berkurangnya ketahanan campuran terhadap kelembapan. Penelitian tersebut sesuai dengan studi yang dilaksanakan oleh Mude dan Suparma (2012) yang menyatakan bahwa Campuran *HRS-BC* yang menggunakan abu serat kelapa sawit sebagai *filler* kurang memiliki ketahanan terhadap *crack* (retak), hal ini terlihat dari nilai *TSR* yang dihasilkan untuk variasi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% masing-masing sebesar 89%, 77%, 74%, 66% dan 64%. Hal tersebut sesuai dengan pengujian ini dengan nilai *TSR* mengalami penurunan dari kadar 0% hingga 100%. Sedangkan di jurnal internasional didapatkan juga penelitian yang dilaksanakan Mohammed dkk (2025) yang menyatakan bahwa dalam penelitiannya menunjukkan bahwa campuran abu dasar batubara sebagai pengganti terhadap Sifat mekanik campuran *Stone Mastic Asphalt (SMA)*, yaitu *CBA (Coal Bottom Ash)* -10 memiliki nilai *TSR* yang hampir sama dengan campuran kontrol. Seiring dengan meningkatnya kadar *CBA*, nilai *TSR* cenderung menurun. Nilai *TSR* pada *CBA*-20 sebesar 86,4%, atau 0,99 kali dari nilai campuran kontrol. Nilai *TSR* untuk *CBA*-30 adalah 84,3%, sedangkan untuk *CBA*-50 sebesar 84,1%. Nilai tersebut menunjukkan adanya penurunan sekitar 0,01–0,03% dibandingkan campuran kontrol. Penurunan nilai *TSR* ini mengindikasikan bahwa campuran *CBA* memiliki kemampuan yang lebih rendah dalam menahan kerusakan akibat kelembapan. Sifat berpori dan mudah menyerap air dari material *CBA* memungkinkan terjadinya peningkatan infiltrasi air ke dalam campuran.

5.2.10 Pembahasan Pengujian *CL* pada KAO dengan *Filler* AABK

Nilai *CL* digunakan sebagai indikator ketahanan benda uji terhadap keausan yang diuji dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Pada pengujian ini, benda uji

dimasukkan ke dalam mesin *Los Angeles* untuk mengetahui tingkat keausan yang terjadi. Parameter *CL* memberikan gambaran mengenai kemampuan lapisan aspal dalam mempertahankan ketahanannya terhadap gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan. Grafik nilai *CL* akibat pengaruh substitusi *filler* abu arang batok kelapa ditunjukkan pada Gambar 5.20 di halaman selanjutnya.



Gambar 5.20 Grafik Pengaruh AABK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *CL*

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.7 dapat dilihat bahwa substitusi *filler* Abu Arang Batok Kelapa menjadikan nilai *CL* meningkat dari kadar 0% hingga 100% seiring dengan bertambahnya kadar variasi substitusi *filler* AABK. Peningkatan nilai *CL* terjadi karena tingginya nilai *CL* biasanya disebabkan oleh lemahnya ikatan antara agregat dan aspal. Pada campuran yang menggunakan *filler* Abu Arang Batok Kelapa, kenaikan nilai ini bisa disebabkan oleh terlalu banyaknya aspal yang terserap oleh *filler*, sehingga jumlah aspal yang efektif sebagai perekat antar agregat berkurang. Pengujian ini selaras dengan penelitian Pratama dan Hadi (2024), yaitu pada campuran yang menggunakan *filler* Abu Arang Kayu (AAK), *filler* substitusi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% mengalami kenaikan secara signifikan. Hal ini bisa disebabkan oleh terlalu banyaknya aspal yang terserap oleh *filler*, sehingga jumlah aspal yang efektif sebagai perekat antar agregat berkurang. Akibatnya, ikatan antar partikel menjadi lebih rapuh, meningkatkan risiko pengelupasan agregat dan keausan. Sehingga, pada pengujian ini dapat diketahui

bahwa pemilihan *filler* yang tepat sangat penting dalam menjaga kestabilan campuran aspal agar dapat meningkatkan ketahanan terhadap keausan dan kerusakan yang disebabkan oleh tekanan mekanis atau kondisi lingkungan.

5.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian pada Campuran dengan Menggunakan *Filler* AABK

Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa berat jenis *filler* debu abu clereng lebih tinggi dibandingkan dengan *filler* abu arang batok kelapa. Perbedaan karakteristik yang dihasilkan berpengaruh terhadap kinerja dalam berbagai pengujian, yaitu pada karakteristik kekuatan struktur, volumetrik dan durabilitas. Untuk mengetahui kinerja substitusi *filler* AABK memiliki keunggulan dalam karakteristik di aspek yang memenuhi, maka dilakukan rekapitulasi dengan grafik untuk mengetahui hasil optimumnya.

5.3.1 Rekapitulasi Pengujian Karakteristik Kekuatan Struktur dengan Substitusi *Filler* AABK

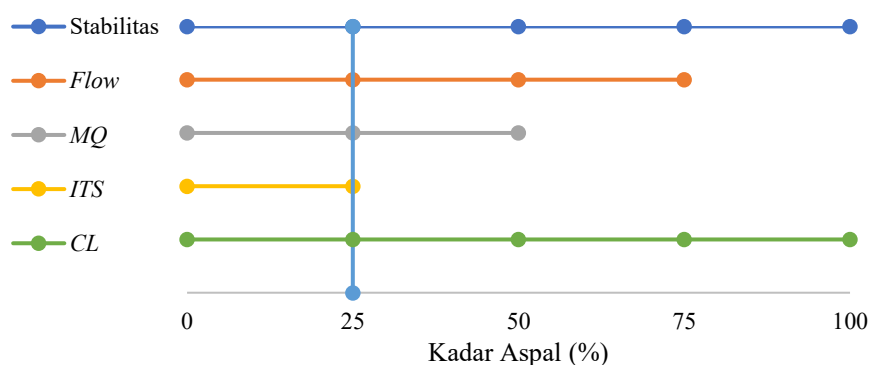
Karakteristik Mekanik dapat dilihat melalui parameter stabilitas, *flow*, *MQ*, *ITS*, dan *CL*. Rekapitulasi pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan Gambar 5.21.

Tabel 5.8 Hasil Rekapitulasi Karakteristik Kekuatan Struktur pada Substitusi *Filler* AABK

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	ITS (kPa)	CL (%)
0%	1148,85	2,52	464,85	202,10	2,20
25%	1078,69	2,58	421,66	184,60	2,28
50%	959,30	2,80	343,23	173,67	2,80
75%	729,43	3,66	200,02	160,34	2,85
100%	611,40	4,28	144,02	139,34	3,99

Pada Tabel 5.8 dapat dilihat bahwa dalam aspek kekuatan struktur, semakin besar substitusi *filler* AABK, nilai stabilitas cenderung mengalami penurunan yang signifikan, sehingga campuran yang dihasilkan mudah mengalami deformasi. Nilai *flow* cenderung mengalami kenaikan, yang menyebabkan campuran akan semakin lentur. Untuk nilai *MQ* cenderung mengalami penurunan yang signifikan, karena pada kondisi optimum, nilai *MQ* memperlihatkan tingkat fleksibilitas yang rendah

sehingga campuran lebih resisten terhadap terjadinya deformasi. Sedangkan untuk nilai *ITS* yang diujikan mengalami penurunan yang berarti bahwa suatu campuran kurang mampu dalam menahan kuat tarik. Pada nilai *CL* cenderung mengalami peningkatan yang tidak signifikan, sehingga dengan bertambahnya kadar *filler* substitusi AABK, campuran akan kurang dalam menerima benturan.



Gambar 5.21 Grafik Kadar *Filler* Substitusi AABK Optimum pada Karakteristik Kekuatan Struktur

Setelah dilakukan rekapitulasi perhitungan dengan grafik diatas pada aspek kekuatan struktur, dapat dilihat bahwa pada kadar 25% merupakan kadar substitusi *filler* optimum yang dapat digunakan.

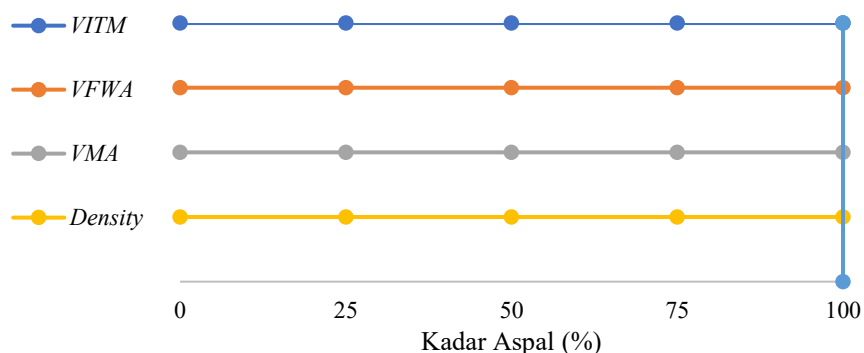
5.3.2 Rekapitulasi Pengujian Karakteristik Volumetrik dengan Substitusi *Filler* AABK

Karakteristik Volumetrik dapat dilihat melalui parameter berupa *VITM*, *VFWA*, *VMA*, dan *density*. Rekapitulasi pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Gambar 5.22 berikut.

Tabel 5.9 Hasil Rekapitulasi Karakteristik Volumetrik pada Substitusi *Filler* AABK

Kadar Aspal (%)	<i>VITM</i> (%)	<i>VFWA</i> (%)	<i>VMA</i> (%)	<i>Density</i> (gr/cc)
0%	4,05	79,32	19,59	2,213
25%	3,74	80,62	19,24	2,208
50%	3,86	80,00	19,25	2,193
75%	3,59	81,03	18,94	2,187
100%	3,34	82,23	18,65	2,180

Pada Tabel tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar substitusi *filler* AABK, nilai *VITM* cenderung mengalami penurunan tidak signifikan, sehingga menyebabkan campuran memiliki rongga udara yang kecil. Untuk nilai *VFWA* cenderung mengalami peningkatan tidak signifikan, dikarenakan dengan penambahan kadar *filler* AABK yang secara efektif mengisi rongga-rongga dalam campuran yang menjadikan semakin padat dan kedap. Pada nilai *VMA* cenderung mengalami penurunan tidak signifikan yang menunjukkan bahwa rongga dalam campuran berkurang. Sedangkan untuk nilai *density* cenderung mengalami penurunan yang menunjukkan berkurangnya kepadatan campuran. Selain itu, kecenderungan penurunan nilai *VITM*, *VMA*, dan *density*, serta peningkatan nilai *VFWA* menunjukkan bahwa penambahan *filler* AABK mampu meningkatkan tingkat kepadatan dan kestabilan campuran aspal. Dengan demikian, struktur campuran menjadi lebih rapat, mengurangi ruang kosong udara, serta meningkatkan daya tahan terhadap deformasi permanen akibat beban lalu lintas.



Gambar 5.22 Grafik Kadar *Filler* Substitusi AABK Optimum pada Karakteristik Volumetrik

Setelah dilakukan rekapitulasi perhitungan dengan grafik diatas pada aspek volumetrik, dapat dilihat bahwa pada kadar 100% merupakan kadar substitusi *filler* optimum yang dapat digunakan.

5.3.3 Rekapitulasi Pengujian Karakteristik Durabilitas dengan substitusi *Filler* AABK

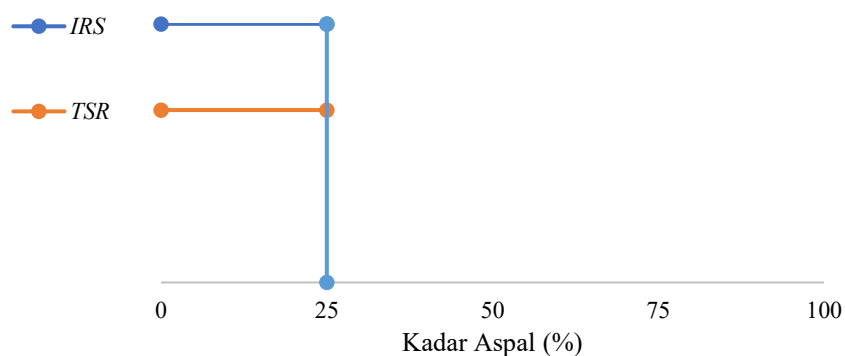
Karakteristik durabilitas dapat dilihat melalui parameter berupa *IRS*, *TSR*, dan *CL*. Rekapitulasi pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Gambar 5.23.

Tabel 5.10 Hasil Rekapitulasi Karakteristik Durabilitas pada Substitusi Filler AABK

Kadar Aspal (%)	IRS (%)	TSR (%)
0%	93,70	92,01
25%	92,27	84,26
50%	89,28	77,80
75%	88,24	77,01
100%	85,36	76,39

Pada Tabel tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar substitusi *filler* AABK, nilai *IRS* cenderung mengalami penurunan yang signifikan, sehingga campuran kurang mampu tahan terhadap air, suhu, dan udara. Sedangkan pada nilai *TSR* cenderung mengalami penurunan yang mengakibatkan campuran menjadi semakin rentan terhadap kelembaban dan air.

Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar *filler* AABK berpengaruh terhadap aspek durabilitas suatu campuran, di mana distribusi partikel menjadi kurang homogen sehingga daya ikat antar agregat dan aspal menurun. Selain itu, penurunan nilai *IRS* menandakan kemampuan campuran dalam menahan deformasi plastis dan gaya bentur berkurang seiring meningkatnya substitusi *filler* AABK.



Gambar 5.23 Grafik Kadar Filler Substitusi AABK Optimum pada Karakteristik Durabilitas

Setelah dilakukan rekapitulasi perhitungan dengan grafik pada aspek durabilitas diatas , dapat dilihat bahwa pada kadar 25% merupakan kadar substitusi *filler* optimum yang dapat digunakan.

5.3.4 Hasil Pembahasan Karakteristik Substitusi *Filler* AABK Terhadap Campuran *HRS-WC*

Setelah dilakukan analisis penggunaan substitusi filler dengan menggunakan abu arang batok kelapa dapat dilihat bahwa pada aspek volumetrik *filler* tersebut dapat bekerja secara optimum pada kadar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Sedangkan pada aspek kekuatan struktur dan durabilitasnya, substitusi *filler* AABK hanya dapat memenuhi pada kadar 25% setelah dilakukan perbandingan melalui nilai minimum dan maksimum yang diterapkan pada Bina Marga 2018 Revisi 2.

Pada karakteristik volumetrik yang terdiri dari nilai *VITM*, *VFWA*, *VMA*, dan *density* dapat disimpulkan bahwa seluruh variasi substitusi *filler* AABK masih berada dalam rentang spesifikasi yang disyaratkan, sehingga secara volumetrik *filler* abu arang batok kelapa mampu memenuhi standar kinerja campuran *HRS-WC*. Namun demikian, meskipun kinerja volumetrik menunjukkan kesesuaian pada seluruh kadar substitusi, hasil pengujian terhadap parameter kekuatan struktur dan durabilitas memberikan batasan bahwa penggunaan *filler* AABK secara optimum hanya direkomendasikan hingga kadar 25%. Dengan demikian, persentase substitusi *filler* AABK sebesar 25% merupakan kondisi optimum yang mampu mempertahankan keseimbangan antara karakteristik volumetrik, kekuatan struktural, serta durabilitas campuran sesuai standar Bina Marga 2018 Revisi.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis perhitungan dari karakteristik campuran *HRS-WC* dengan variasi substitusi *filler* abu arang batok kelapa sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Penambahan *filler* AABK dalam campuran *HRS-WC* menunjukkan penurunan stabilitas dan penurunan *MQ* secara signifikan dari kadar 0% hingga 100%. Akan tetapi pada penurunan tersebut, dalam kadar 75% dan 100% nilai *MQ* tidak memenuhi spesifikasi minimum Bina Marga 2018 Revisi ke-2 yaitu di bawah 250 kg/mm. Sedangkan nilai *flow* yang dihasilkan meningkat secara signifikan dari kadar 0% hingga 100%, membuat campuran menjadi lebih fleksibel, meskipun rentan terhadap deformasi. Nilai *VITM* dan *VMA* yang dikategorikan sebagai porositas menurun seiring dengan peningkatan kadar AABK, nilai *VFWA* naik sedangkan nilai *density* menurun. Penurunan *density* dikarenakan terbentuknya rongga baru pada campuran dengan *filler* abu arang batok kelapa sebagai akibat dari berubahnya kondisi saling mengunci antar agregat.
2. Nilai *ITS* pada campuran *HRS-WC* dengan variasi kadar AABK sebagai *filler* mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya kadar *filler*. Penurunan ini disebabkan dengan adanya retakan yang semakin besar, menunjukkan bahwa dengan penambahan *filler* AABK, akan menurunkan kekuatan tarik campuran dan meningkatkan kerentanan terhadap kerusakan.
3. Nilai *IRS* mengalami penurunan secara signifikan pada campuran dengan substitusi *filler* AABK pada kadar 0% hingga 100%. Penurunan nilai *IRS* tersebut menunjukkan bahwa *filler* AABK kurang efektif dalam meningkatkan ketahanan campuran terhadap cuaca dan beban lalu lintas dibandingkan dengan *filler* abu batu. Nilai *CL* juga meningkat seiring dengan bertambahnya kadar *filler* AABK, namun hal tersebut masih memenuhi

standar Bina Marga 2018 revisi ke-2. Pada kadar AABK 0% hingga 100%, daya serap aspal yang berlebihan dapat mengakibatkan ikatan agregat menurun, hal tersebut berpengaruh pada kualitas *TSR* yang semakin rendah.

4. Pada beberapa karakteristik dalam melakukan pengujian tersebut, didapatkan bahwa substitusi *filler* menggunakan abu arang batok kelapa memiliki keunggulan dalam karakteristik volumetrik. Hal itu didasarkan pada perhitungan pada aspek volumetrik tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga 2018 Revisi 2.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut merupakan saran yang dapat diberikan.

1. Penelitian lebih lanjut diperlukan sebagai analisis sifat kimia AABK dalam campuran *HRS-WC*. Analisis kimia yang dilakukan akan membantu memahami sifat fisik dan mekanis campuran tersebut dan dapat melakukan evaluasi potensi dari kedua bahan sebagai *filler* dalam campuran suatu aspal. Pendekatan tersebut dapat diharapkan memberikan wawasan lebih dalam untuk dapat berinovasi pada bidang perkerasan jalan yang berkelanjutan.
2. Dalam campuran *HRS-WC* dengan *filler* AABK, kadar *filler* disarankan tidak lebih dari 25% untuk menjaga stabilitas dan fleksibilitas dari campuran. Penelitian ini menunjukkan kadar *filler* yang lebih tinggi akan menjadikan campuran aspal tersebut semakin lemah, sehingga kadar tersebut perlu diperhatikan untuk memastikan kinerja aspal dalam jangka yang panjang.
3. Perbandingan berat jenis *filler* abu arang batok kelapa dengan abu batu perlu diperhatikan terlebih dahulu agar hasil yang didapatkan tidak terlalu jauh dan untuk menghindari adanya hasil yang kurang memenuhi dari spesifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alirusi, R., H, S. M. & Massara, A., 2023. Studi Experimental Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) Dengan Penambahan Zat Aditif Polyurethane Terhadap Ketahanan Deformasi Dan Modulus Elastis. *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, III (3), pp.
- Asebiomo, O. J., Aderinola, O. S., Ejigboye, P., & Titiloye, O. 2024. Performance evaluation of coconut fiber ash as mineral filler in asphalt mixture. *Innovative Infrastructure Solutions*, 9(5).
- Budiati, A., Dewi, F. I. K., Alwi, M. K. Z., & Fajrinia, C. P. (2025). Properties Aspal Akibat Substitusi Getah Karet Dengan Filler Abu Arang Tempurung Kelapa. *INTER TECH*, 3(1), 33–41.
- Dewi, F. I. K., & Budiati, A. 2022. Pengaruh Substitusi Lateks (Getah Karet) Terhadap Kinerja Karakteristik Lapis Aspal Beton (Laston) dengan Kombinasi Filler Abu Arang Tempurung Kelapa. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*.
- Dwi Putri, A., Putra, S., Sulistyorini, R., & Herianto, D. 2022. Pengaruh Penambahan Arang Tempurung Kelapa Terhadap Durabilitas Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC). 10(1).
- Dzulhadi, R., Putra, S., Herianto, D., & Sulistyorini, R. 2022. Kajian Penelitian Limbah Arang Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Tambah Pada Aspal Untuk Campuran Split Mastic Asphalt. 10(1).
- Elvira Putri, H. A., & Widayanti, A. 2023. Pengaruh Pemanfaatan Abu Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Pengisi (Filler) pada Campuran Aspal Lapis AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course). In *Jurnal Media Publikasi Terapan Transportasi*. 1(1).
- Farida, I., & Rachmadiba, P. (2023). Pengaruh Filler Abu Cangkang Kerang Terhadap Campuran Aspal Daerah Pesisir Pantai. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 365–378.
- Fauziah Badaron, S., Gecong, A., Anies, M. K., Meydinia, W., Achmad, A., & Setiani, E. P. (2019). Studi Perbandingan Kuat Tarik Tidak Langsung terhadap Campuran Aspal Beton dengan menggunakan Limbah Marmer dan Abu Sekam Padi sebagai Filler. *Jurnal Ilmiah Ilmu - Ilmu Teknik*, 4(2).
- Febrina Dian Kurniasari, Sofyan M. Saleh, & Sugiarto. (2018). Pengaruh Filler Abu Ampas Tebu (Aat) Dengan Bahan Pengikat Aspal Pen 60/70 Pada Campuran Laston Ac-Wc. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan (JARSP)*, 1(4).

- Firmansyah, D., & Chasanah, F. (2018). Pengaruh Penambahan Limbah Ban Karet Sebagai Bahan Tambah Pada Beton Ac-Wc Dengan Filler Gypsum.
- Gazalie, R., Fauzi, M., Hawinuti, R., & Helmi, M. 2023. Pemanfaatan Limbah Abu Batu Bara sebagai Filler pada Laston Lapis AUS (HRS-WC). *Jurnal Gradasi Teknik Sipil*, 7(1), pp. 71–85.
- Kalangie, B. V. J., Palenewen, S. C. N., & Lalamentik, L. G. J. 2024. Perbedaan penggunaan campuran fly ash dan bottom ash batu bara sebagai filler pada campuran beraspal panas jenis lapis tipis aspal beton – Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC). *TEKNO*, 22(90), pp. 1940-1950.
- Mohammed, S. A., Koting, S., Babalghaith, A. M., Isa, M. H. M., & Khairuddin, F. H. (2025). Influence of Coal Bottom Ash as Fine Aggregate Replacement on the Mechanical Properties of Stone Mastic Asphalt. *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(12).
- Muhammad, D. R., & Hadi, M. A. (2025). Pengaruh pasir pantai Glagah Kabupaten Kulon Progo dalam campuran perkerasan aspal Hot Rolled Sheet (HRS). *Proceeding Civil Engineering Research Forum*, 4(2).
- Nento, S., Abdul Djau, R., Bumulo, N., Dayanti, W., resmi, A., Jenderal Sudirman, J., Kayubulan, K., & Gorontalo, K. (2021). Analisis Karakteristik Marshall Campuran Ac-Wc Menggunakan Filler Abu Batu Zeolit. *Journal of Infrastructure & Science Engineering*, IV(2), 67–75.
- Ramadhan, F. & Fauziah, M., 2020. Kinerja Campuran Sma Dengan Menggunakan Pasir Pantai Indrayanti Sebagai Pengganti Agregat Halus. *Teknisia*, XXV(1), pp. 34 - 42.
- Rudi, 2023. Analisis Penggunaan Abu Batu Apung Sebagai Substitusi Filler Pada Campuran Aspal Panas Ac-Wc Dengan Variasi Perendaman. *Gorontalo Journal of Infrastructure & Science Engineering*, VI(1), pp. 7 - 15.
- Syukuriah, A., Isdyanto, A., & Adha, A. N. 2023. Pengaruh penggunaan serbuk arang tempurung kelapa sebagai bahan pengisi (filler) terhadap karakteristik laston AC-WC. *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Keteknikan & Informatika (SENARAI 2023)*, pp. 225-234.
- Tajudin, A. N. & Suparma, L. B., 2017. Pengaruh Rendaman pada Indirect Tensile Strength Campuran AC-BC dengan Limbah Plastik sebagai Agregat Pengganti. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, XXIII (2), pp. 166 - 173.
- Tamalkhani Syammaun, Rifki Hidayat, & Firmansyah Rachman. (2019). Characteristic of Coconut-Shell Ash as Filler and LDPE Plastic Waste as Substitution Materials of Porous Asphalt Mixtures. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(3S3), 340–344.

- Towheed Molvi, A., & Singh, S. 2023. Experimental Investigation of Coconut Shell Charcoal Ash in Bituminous Concrete. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1110(1).
- Trisniati, S. T., Kecamatan, A., Selatan, A., & Kotawaringin Barat, K. 2023. Penggunaan Pasir Bekas Tambang Sebagai Bahan Pengisi (Filler) Pada Campuran Hrs Base. Pembelajaran Menggunakan Daring). Juristek, 10(2), pp. 492–501.
- Yelvi & Mukhlis, 2013. Evaluasi Kinerja Campuran Beton Aspal Lapis Aus (Ac-Wc) Memakai Limbah Abu-Cpo Sebagai Filler. Jurnal Rekayasa Sipil, IX(2), pp. 31 - 41.
- Yoga Pratama, F., & Abdul Hadi, M. (2024). Pemanfaatan Limbah Abu Arang Kayu Mindi Sebagai Filler Pengganti Terhadap Karakteristik Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA). Agregat, 9(2).
- Yos, J., Km, S., Pekanbaru, R., Lubis, F., & Haris, V. T. (2017). Pengaruh Filler Abu Tandan Sawit Terhadap Karakteristik Marshal Pada Campuran Ac-Bc Winayati Program Studi Teknik Sipil Universitas Lancang Kuning. In Jurnal Teknik Sipil Siklus (Vol. 3, Issue 1).
- Zulkarnain, I., Hidayat, M., Muhammadiyah, U., & Koresponden, K. T. (2023). Pengaruh Penggunaan Kapur Sebagai Penambahan Filler Pada Campuran Aspal AC-BC. Journal of Civil Engineering, Building and Transportation, 7(1).

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 : Juni 2025

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	23,83	23,87
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	47	47,07
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	23,17	23,2
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	24,9	25,21
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	1,07	1,34
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	47,02	47,11
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	22,12	21,9
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	1,05	1,3
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,02	1,031
10	Rata-rata BJ Aspal	1,025	

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA
Abdullah Ruslan, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

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

Yogyakarta, Oktober 2025
Peneliti
Diah Ayu Puspitaningrum
NIM : 21 511 252

Lampiran 2 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70

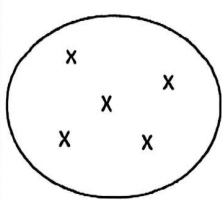
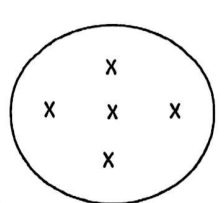
PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL

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

- 1 Sumber Material : Pertamina
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
- 3 Diuji Pada : Juni 2025

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	27 °C	12.30 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	13.00 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	140 °C	13.00 WIB	
	Selesai	27 °C	15.30 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	25 °C	15.30 WIB	
	Selesai	25 °C	15.40 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	62	60			
2	62	62			
3	60	63			
4	61	60			
5	60	61			
Rata2	61	61,2			
Rata2	61,1				

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA
Ir. Sanjaya Kusnanto, M.Eng. IPM., ASCE, Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Oktober 2025
Peneliti

Diah Ayu Puspitaningrum
NIM : 21 511 252

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 : Juni 2025

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	28 °C	11.15 WIB	
	Selesai pemanasan	130 °C	11.30 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	130 °C	11.30 WIB	
	Selesai	28 °C	13.22 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	28 °C	14.47 WIB	
	Selesai	339 °C	15.47 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	332 °C	339 °C	
2	Benda uji 2			
3	Rata - rata	332 °C	339 °C	

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

[Signature]

Dr. Berlian Kusnary, M. Eng., IFM., ASEAN. Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

[Signature]

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

Yogyakarta, Oktober 2025
[Signature] Peneliti

[Signature]

Diah Ayu Puspitaningrum
NIM : 21 511 252

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 : Juni 2025

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	28 °C	09.20 WIB	
	Selesai pemanasan	130 °C	09.35 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	130 °C	09.35 WIB	
	Selesai	28 °C	10.40 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	5 °C	14.15 WIB	
	Selesai	50 °C	14.30 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	468 detik	468 detik		
3	15 °C	154 detik	154 detik		
4	20 °C	140 detik	140 detik		
5	25 °C	135 detik	135 detik		
6	30 °C	149 detik	149 detik		
7	35 °C	148 detik	148 detik		
8	40 °C	147 detik	147 detik		
9	45 °C	153 detik	153 detik	48	50
10	50 °C	detik	detik		
11	55 °C				
12	60 °C				

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
Ir. Benan Kusnadi, M.Eng., P.M., ASEAN.Eng.
NIB: 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Oktober 2025
Peneliti

Diah Ayu Puspitaningrum
NIM : 21 511 252

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 : Juni 2025

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	150 cm	Tidak Putus
2	Sampel 2	150 cm	Tidak Putus
4	Rata-rata	150 cm	

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
Jl. Beringin Kesatrian Eng. IPM, ASEAN, Eng.
YOGYAKARTA 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Oktober 2025

Peneliti

Diah Ayu Puspitaningrum
NIM : 21 511 252

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 : Juni 2025

Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan	
			Waktu	Suhu
1	Persiapan	Mulai	13.20 WIB	28 °C
		Selesai	13.30 WIB	28 °C
2	Ponimbangan	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 %	
9	Rata-rata Aspal yang larut (%)	99,321 %		

Disetujui Oleh
Manajer Laboratorium Teknik Sipil
DAN PERENCANAAN
Ir. Berhan Kusnata, M.Pd., I.P.M., ASEAN, Eng.
NIK : 01 511 0101

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

Yogyakarta, Oktober 2025
Peneliti
Diah Ayu Puspitaningrum
NIM : 21 511 252



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 Uji Pada : Juni 2025

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	1633,68	1596,50	1615,09
2	Berat benda uji dalam Air (BA) gr	1000,00	1000,00	1000,00
3	Berat benda uji dikering oven (BK) gr	1610,47	1568,35	1589,41
4	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(BJ - BA)}$	2,541	2,629	2,585
5	Berat jenis (SSD) = $\frac{BJ}{(BJ - BA)}$	2,578	2,676	2,627
6	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(BK - BA)}$	2,638	2,759	2,699
7	Penyerapan air = $\frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\%$	1,441	1,795	1,618
8	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,590	2,694	2,642



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Oktober 2025

Peneliti

Diah Ayu Puspitaningrum
NIM : 21 511 252

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 : Juni 2025

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
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
Ir. Beden Kusnan, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Oktober 2025
Peneliti

Diah Ayu Puspitaningrum
NIM : 21 511 252

Lampiran 9 Pemeriksaan Kekuasan Agregat dengan Mesin Los Angeles

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT KASAR

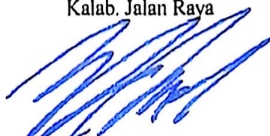
AASHTO T 96 - 77 ; SNI 2417 : 2008

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : Juni 2025

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	2500,00	
7	12.5 mm (0.5")	09.5 mm (3/8")	2500,00	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	5000,00	
12	JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE 12(B) (100x)		4126,70	4244,20	
13	KEAUSAN 100x = $\frac{(A - B)}{A} \times 100\%$		17,466	15,116	
17	Rata-rata Kekuasan (%)		16,29		

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Borhan Kusnanto, M.Eng, IPM, ASEAN, Eng.
NIK : 21 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Oktober 2025
Peneliti

Diah Ayu Puspituningrum
NIM : 21 511 252

Lampiran 10 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

RUJUKAN : SNI 1970 - 2008

- 1 Sumber Material : Cloreng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : Juni 2025

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	645,49	640,23	
3	Berat Vicnometer + Air + benda uji (BT) gr	954,07	945,23	
4	Berat benda uji kering oven (BK)	487,55	488,23	
5	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(B + 500) - BT}$	2,547	2,504	2,525
6	Berat jenis (SSD) = $\frac{500}{(B + 500) - BT}$	2,612	2,564	2,588
7	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B + BK) - BT}$	2,724	2,665	2,694
8	Penyerapan air = $\frac{(500 - BK)}{BK} \times 100\%$	2,554	2,411	2,482
9	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,636	2,584	2,610

Disahkan Oleh
Menteng Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA

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

Mengetahui
Kalah Jalan Raya

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

Yogyakarta, Oktober 2025
Peneliti

Diah Ayu Puspitaningrum
NIM : 21 511 252

Lampiran 11 Pemeriksaan *Sand Equivalent*

PEMERIKSAAN SAND EQUIVALENT

RUJUKAN : SNI 3423-2008

- 1 Sumber Material : Cileng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Halus
- 3 Diuji Pada : Juni 2025

No.	Keterangan		Benda uji		Rata-rata
			1	2	
1	Persiapan, dan perendaman benda uji dalam larutan CaCl_2 selama ($\pm$ 10.1 menit).	Mulai	14.15	15.06	
		Selesai	14.25	15.16	
2	Waktu pengendapan (benda uji setelah digojok sebanyak 90x, dan di tambah larutan CaCl_2)	Mulai	14.36	15.22	
		Selesai	14.56	15.42	
4	Clay reading (Pembacaan Lumpur) Inchi		4.00	3.80	3,90
5	Sand reading (Pembacaan Pasir)		2.80	2,80	2,80
6	$\text{Sand Equivalent} = \frac{\text{Sand Reading}}{\text{Clay Reading}} \times 100 \%$		70,00	73,68	71,84
7	Kandungan Lumpur = 100 - SE		30,00	26,32	28,16

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
Ir. Pohan Kusnanto, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 21 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya


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

Yogyakarta, Oktober 2025
 Peneliti


Diah Ayu Puspitaningrum
NIM : 21 511 252

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 : Juni 2025

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat Vicnometer Kosong gr	23,80	23,75	
2	Berat Vicnometer + Air gr	47,33	47,16	
3	Berat Vicnometer (2-1) gr	23,53	23,41	
4	Berat Vicnometer + <i>Filler</i> gr	31,55	30,41	
5	Berat <i>Filler</i> (4-1) gr	7,750	6,660	7,21
6	Berat Vicnometer + <i>Filler</i> + Aquadest gr	52,430	50,710	51,57
7	Berat Aquadest (6-4) gr	20,880	20,300	20,59
8	Volume <i>Filler</i> (3-7) gr	2,650	3,110	2,88
9	Berat Jenis <i>Filler</i> = Berat/Vol (5/8)	2,925	2,141	2,533



Mengotahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Oktober 2025
Peneliti

Diah Ayu Puspitaningrum
NIM : 21511252

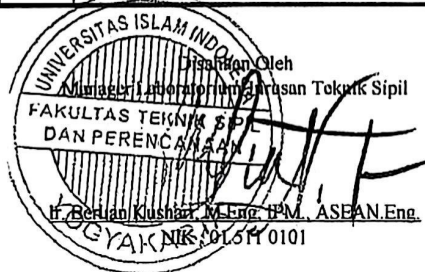
Lampiran 13 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler AABK*

PEMERIKSAAN BERAT JENIS *FILLER AABK*

RIJUKAN : SNI 2441-2011

- 1 Jenis Material : *Filler AABK*
- 2 Sumber Material :
- 3 Diuji Pada : Juni 2025

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat Vicnometer Kosong gr	23,38	23,87	
2	Berat Vicnometer + Air gr	47,06	46,95	
3	Berat Vicnometer (2-1) gr	23,68	23,08	
4	Berat Vicnometer + <i>Filler</i> gr	25,02	27,65	
5	Berat <i>Filler</i> (4-1) gr	1,640	3,780	2,71
6	Berat Vicnometer + <i>Filler</i> + Aquadest gr	47,640	48,690	48,17
7	Berat Aquadest (6-4) gr	22,620	21,040	21,83
8	Volume <i>Filler</i> (3-7) gr	1,060	2,040	1,55
9	Berat Jenis <i>Filler</i> = Berat/Vol (5/8)	1,547	1,853	1,700



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Oktober 2025
 Peneliti

Diah Ayu Puspitaningrum
NIM : 21511252

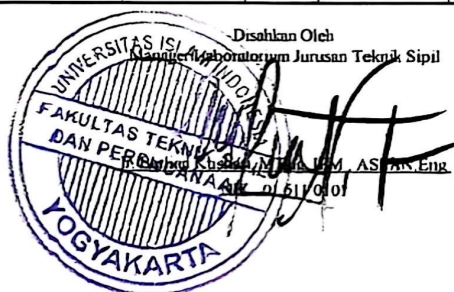
Lampiran 14 Hasil Pengujian Marshall untuk KAO

HASIL PENGUJIAN MARSHALL
DENGAN METODE MARSHALL (AASHTO : T 245 - 78)

Tanggal Pengujian
Tipe Campuran

Juni 2025
Hot Rolled Sheet - Wearing Course

KADAR ASPAL (%)	SAMPel	TEBAL (cm)	BJ MAKS CAMP	BERAT KERING (gram)	BERAT BASAH (gram)	SSD (gram)	VOLUME ISI (gram)	BJ BULK CAMP	VITM (%)	VMA (%)	VFWA (%)	PEMBC. ARLOJI	STAB DISEPAIKAN	FLOW	MQ
6,40	I	63,54	2,399	1.174,82	651,27	1.177,97	526,70	2,231				64,00	867,15	2,30	
	II	64,59		1.171,23	653,41	1.174,56	521,15	2,247				67,00	907,50	3,20	
	III	65,38		1.161,36	652,12	1.164,61	512,49	2,266				63,00	853,60	2,70	
6,50		64,50		1.169,14	652,27	1.172,38		2,248	6,29	17,16	67,66	64,67	876,18	2,73	320,55
	I	62,83	2,382	1.174,76	655,32	1.178,32	523,00	2,246				69,00	993,02	2,80	
	II	63,61		1.171,29	654,21	1.176,32	522,11	2,243				66,00	949,85	3,20	
7	III	63,44		1.170,43	655,87	1.172,17	516,30	2,267				65,00	935,46	3,46	
		63,29		1.172,16	655,13	1.175,60		2,252	5,46	17,45	72,34	66,67	959,44	2,88	342,00
	I	62,51	2,365	1.170,34	653,43	1.172,43	519,00	2,255				69,00	972,91	2,10	
7,5	II	65,45		1.171,29	654,21	1.174,53	520,32	2,251				70,00	987,01	3,00	
	III	61,31		1.173,87	652,44	1.176,76	524,32	2,239				71,00	1001,11	3,70	
		63,09		1.171,83	653,36	1.174,57		2,248	4,96	18,04	75,58	70,00	987,01	3,08	329,00
8	I	63,76	2,349	1.175,43	655,47	1.178,60	523,13	2,247				62,00	889,49	3,50	
	II	65,21		1.169,92	649,12	1.175,09	525,97	2,224				66,00	946,87	3,10	
	III	61,29		1.172,51	652,32	1.177,62	525,30	2,232				61,00	875,14	3,00	
8		63,42		1.172,62	652,30	1.177,10		2,234	4,88	18,99	77,01	63,00	903,83	3,28	382,45
	I	63,55	2,333	1.170,26	654,32	1.175,31	520,99	2,246				60,00	824,78	4,40	
	II	64,81		1.168,34	645,12	1.173,52	528,40	2,211				62,00	852,28	3,40	
8	III	63,62		1.160,43	642,01	1.164,21	522,20	2,222				63,00	866,02	2,50	
		64,00		1.166,36	647,15	1.171,01		2,226	4,56	19,72	79,21	61,67	847,70	3,43	246,90



Mengetahui
Ketub. Jalan Raya

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

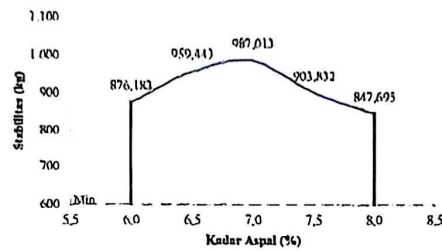
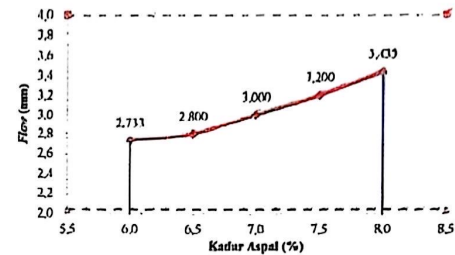
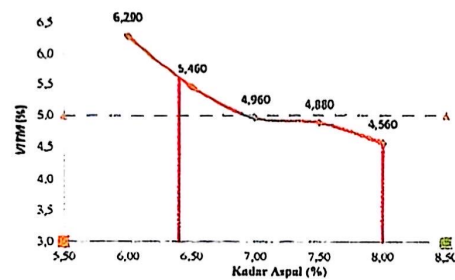
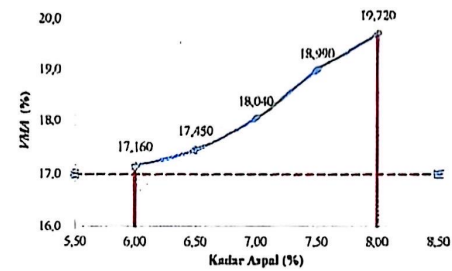
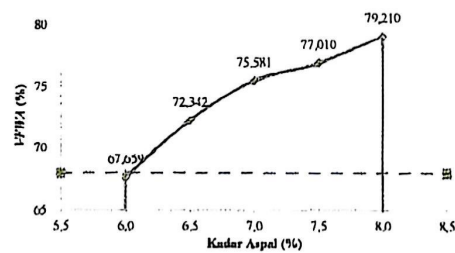
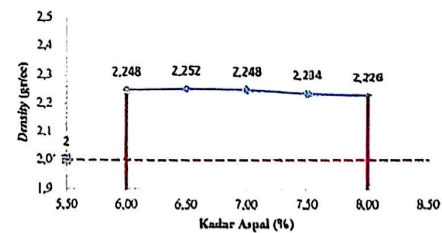
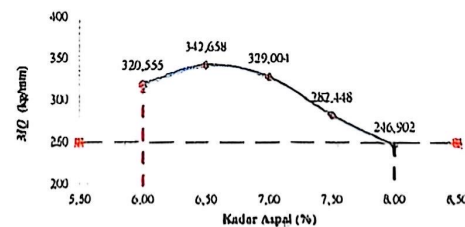
Yogyakarta, Oktober 2025
Peneliti

Diah Ayu Puspatuningsum
NIM : 21 511 252

Lampiran 15 Rekapitulasi Atribusi Untuk KAO

REKAPITULASI MARS/ILI UNTUK KAO

No.	Aspel	Stsclucuc Juen	Flow	VIM	VMA	VFA	Desenv.	MO
1	6,00	876,183	2,733	6,290	17,160	67,659	2,248	320,555
2	6,30	959,443	2,800	5,460	17,430	72,342	2,232	342,658
3	7,00	987,013	3,000	4,960	18,040	75,581	2,218	320,004
4	7,50	903,832	3,200	4,880	18,990	77,010	2,234	382,448
5	8,00	847,695	3,433	4,360	19,720	79,210	2,226	346,902
Spec		>600	2-4	3-5	>17			>250

[illegible]

Mengetahui
Ketab. Jalan Raya



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

Yogyakarta, Oktober 2025

Diah Ayu Puspitaningrum
NIM : 21 511 252

Lampiran 16 Hasil Pengujian Marshall Setelah KAO

HASIL PENGUJIAN MARSHALL
DENGAN METODE MARSHALL (AASHTO : T 245 - 78)

Tanggal Pengujian

Juli 2025

Tipe Campuran

Hot Rolled Sheet-Wearing Course

Kadar	Sampel	Tinggi (cm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G Density	H	I	J	K	L VMA (%)	M VFWA (%)	N VITM (%)	O Meas	P Koreksi	Q Stabilitas (kg)	R Flow (mm)	S MQ (Kg/mm)
0%	1	64,11	7,76	7,2	1170	1173,1	6425	530,6	2,205	2,306	15,480	80,132	4,388	19,87	77,92	4,39	75,00	1,00	1072,58	2,96	162,36
	2	61,64	7,76	7,2	1171,3	1174,0	644,62	529,4	2,213	2,306	15,533	80,406	4,061	19,59	79,27	4,06	82,00	1,00	1172,68	2,4	488,62
	3	64,88	7,76	7,2	1171,6	1175,5	647,92	527,6	2,221	2,306	15,590	80,701	3,709	19,30	80,78	3,71	84,00	1,00	1201,28	2,21	543,57
25%		63,54					645,0133		2,213					19,59	79,32	4,05	80,33		1148,85	2,52	464,85
	1	63,63	7,76	7,2	1166,8	1168,38	635,82	532,56	2,191	2,294	15,381	80,143	4,476	19,86	77,46	4,48	78,00	0,95	1056,13	2,33	453,27
	2	64,67	7,76	7,2	1165,7	1167,9	642,57	525,33	2,219	2,294	15,578	81,17	3,253	18,83	82,73	3,25	79,00	0,95	1069,67	2,45	436,60
50%	3	65,28	7,76	7,2	1166,4	1168,36	641,45	526,91	2,214	2,294	15,541	80,975	3,485	19,03	81,68	3,48	82,00	0,95	1110,29	2,96	375,10
		64,52					639,9467		2,208					19,24	80,62	3,74	79,67		1078,69	2,58	421,66
	1	65,73	7,76	7,2	1173,86	1179,13	641,75	537,38	2,184	2,281	15,335	80,435	4,230	19,57	78,38	4,23	72,00	0,89	920,93	2,90	317,56
75%	2	68,47	7,76	7,2	1174,3	1177,9	641,33	536,57	2,189	2,281	15,364	80,586	4,050	19,41	79,14	4,05	75,00	0,89	959,30	2,80	342,61
	3	65,36	7,76	7,2	1170,2	1176,92	646,41	530,51	2,206	2,281	15,485	81,222	3,292	18,78	82,47	3,29	78,00	0,89	997,67	2,70	369,51
		66,52					643,1633		2,193					19,25	80,00	3,86	75,00		959,30	2,80	343,23
100%	1	65,48	7,76	7,2	1163,79	1169,21	637,92	531,29	2,190	2,268	15,378	81,197	3,425	18,80	81,78	3,43	57,00	0,90	733,72	3,40	215,80
	2	67,64	7,76	7,2	1168,09	1173,68	638,52	535,16	2,183	2,268	15,323	80,908	3,769	19,09	80,26	3,77	58,00	0,90	746,59	3,98	187,59
	3	65,89	7,76	7,2	1160,77	1165,94	635,14	530,8	2,187	2,268	15,352	81,061	3,587	18,94	81,06	3,59	55,00	0,90	707,98	3,60	196,66
		66,34					637,1933		2,187					18,94	81,03	3,59	56,67		729,43	3,66	200,02
	1	67,48	7,76	7,2	1160,5	1165,19	628,44	536,75	2,162	2,255	15,178	80,682	4,139	19,32	78,57	4,14	49,00	0,87	607,27	4,62	131,44
	2	68,68	7,76	7,2	1162,7	1166,72	639,74	526,98	2,206	2,255	15,489	82,334	2,177	17,67	87,68	2,18	53,00	0,87	656,85	3,86	170,17
	3	67,84	7,76	7,2	1163,4	1163,8	628,14	535,66	2,172	2,255	15,247	81,048	3,704	18,95	80,45	3,70	46,00	0,87	570,09	4,37	130,46
		68,00					632,1067		2,180					18,65	82,23	3,34	49,33		611,40	4,28	144,02



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

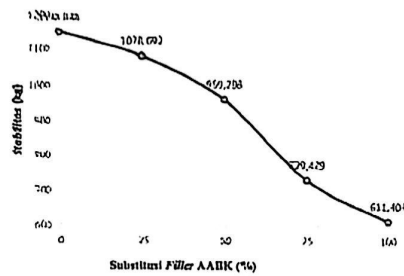
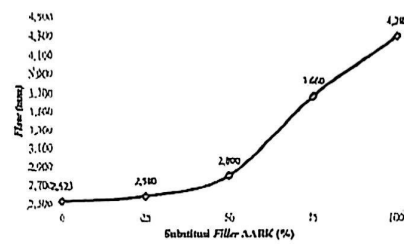
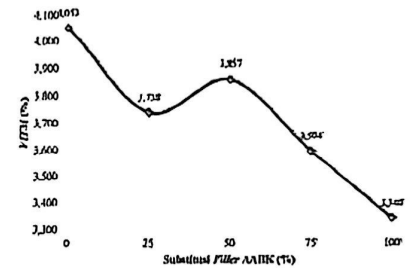
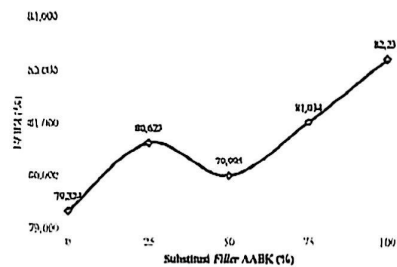
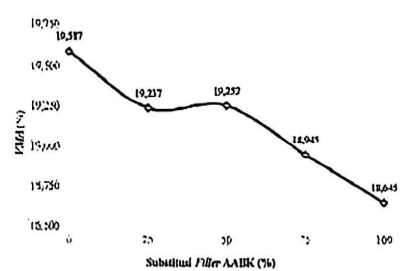
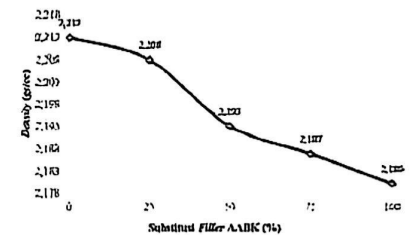
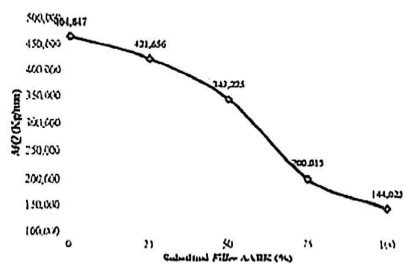
Yogyakarta, Oktober 2025
Peneliti

Diah Ayu Puspiningrum
NIM. 21 511 252

Lampiran 17 Rekapitulasi Marshall Setelah KAO

REKAPITULASI HASIL UJI UNTUK KAO

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/m ³)	VIM (%)	VTM (%)	FMA (%)	Density (gr/cc)
0	1148,848	2,523	461,847	4,053	79,324	19,587	2,217
25	1078,692	2,580	421,656	3,738	80,623	19,237	2,208
50	959,298	2,800	343,225	3,857	79,995	19,252	2,193
75	729,420	3,660	200,015	3,591	81,034	18,945	2,187
100	611,404	4,283	144,023	3,310	82,231	18,615	2,180
BINA MARGA	600	>2-4	>250	>3,0-5,0	>68	>17	>2



Disetujui Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
Ir. Bedjan Kusnira, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK. 01 511 0101

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

Yogyakarta, Oktober 2025
Peneliti
Diah Ayu Puspitaraningrum
NIM : 21 511 252



Lampiran 18 Hasil Pengujian IRS

HASIL PENGUJIAN IRS

KADAR ASPAL		TEBAL SAMPEL					Angka koreksi	Berat			Stabilitas			Flow		Stability		
		(cm)						(gr)										
			1	2	3	rata-rata		kering	air	SSD	Meas	Kalibrasi	Adjust	awal (mm)	rata2 (cm)	awal	rata2	MIN
Pen 60/70	0	1	64,4	64,9	65,5	64,93	0,93	1169,21	664,54	1173,85	78	31,56	2462,0544	2,45	2,31	1043,67	1076,41	600
		2	63,9	61,3	64,3	63,17	1,01	1162,17	665,83	1165,9	74	31,56	2335,7952	2,32		1068,33		
		3	62,8	62,3	62,19	62,43	1,03	1159,43	663,85	1162,92	76	31,56	2398,9248	2,17		1117,24		
	25	1	63,1	63,8	63,6	63,50	1,00	1177,03	661,87	1181,65	70	31,56	2209,536	2,38	2,39	1002,23	995,27	600
		2	62,5	63,4	63,2	63,03	1,01	1164,1	663,15	1167,97	69	31,56	2177,9712	2,25		999,44		
		3	62,4	64,3	62,5	63,07	1,01	1167,34	657,27	1171,27	68	31,56	2146,4064	2,54		984,14		
	50	1	62,8	64	64,9	63,90	0,97	1169,76	654,34	1172,92	64	31,56	2020,1472	2,74	2,77	887,00	856,46	600
		2	65,4	64,4	64,5	64,77	0,94	1165,85	647,47	1169,85	60	31,56	1893,888	2,86		806,73		
		3	65	64,1	65	64,70	0,94	1171,46	650,94	1174,9	65	31,56	2051,712	2,72		875,65		
	75	1	68,5	66,1	66,8	67,13	0,88	1177,93	628,02	1183,07	51	31,56	1609,8048	3,25	3,22	643,94	643,62	600
		2	66,2	65,4	64,7	65,43	0,92	1163,39	629,45	1167,9	48	31,56	1515,1104	2,88		633,41		
		3	67	66,8	65,7	66,50	0,90	1176	643,26	1180,05	51	31,56	1609,8048	3,53		653,52		
	100	1	66,5	66,1	65,8	66,13	0,90	1174,68	621,8	1179,87	42	31,56	1325,7216	3,48	3,51	543,71	521,86	600
		2	67,1	68,6	66,9	67,53	0,87	1173,38	620,96	1178,22	39	31,56	1231,0272	3,39		488,24		
		3	69,5	69,8	69,6	69,63	0,85	1180,35	623,92	1185,14	44	31,56	1388,8512	3,65		533,65		

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berhan Kusnari, M.Eng., P.M., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

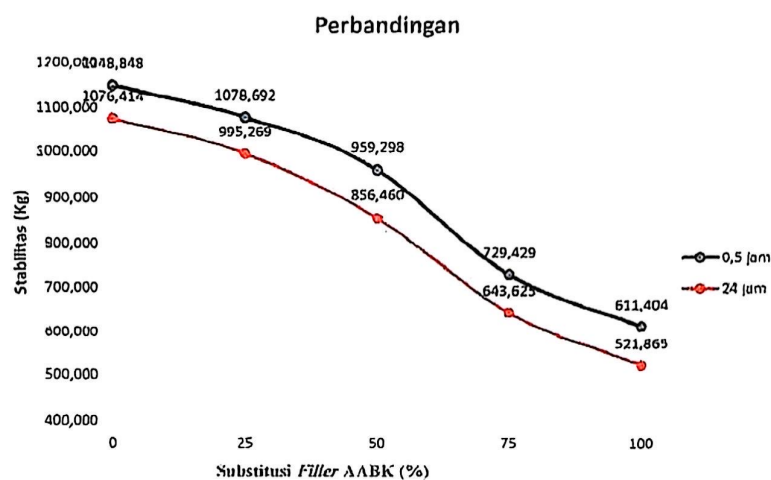
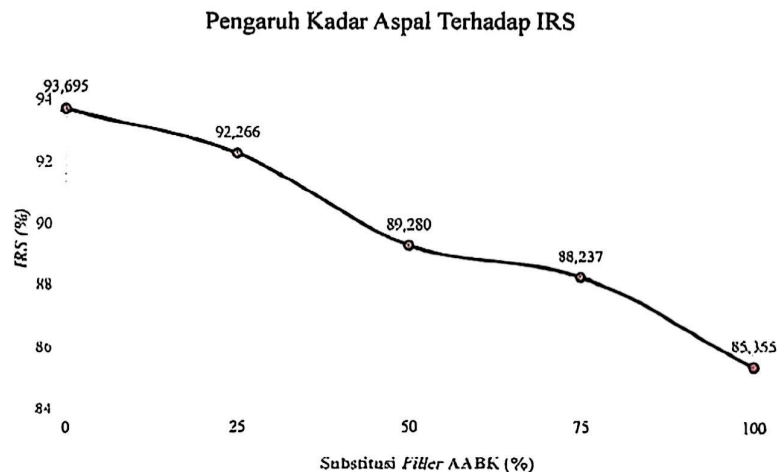
Yogyakarta, Oktober 2025
Peneliti

Diah Ayu Puspitaningrum
NIM : 21 511 252

Lampiran 19 Rekapitulasi Pengujian IRS

REKAPITULASI PENGUJIAN IRS

Variasi Substitusi (%)	KAO (%)	Stabilitas 0 Jam	Stabilitas 24 Jam	IRS
0	7,2	1148,85	1076,41	93,70
25		1078,69	995,27	92,27
50		959,30	856,46	89,28
75		729,43	643,62	88,24
100		611,40	521,86	85,36



Disiapkan Oleh
Muhammad Nur Hafid
Jurusan Teknik Sipil
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
Jl. Hutan Kutha Raya No. 100, ASRIAN, Eng.
YOGYAKARTA (Telp. 0274) 0101

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

Yogyakarta, Oktober 2025
Peneliti
Diah Ayu Puspitaningrum
NIM : 21511252



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898144 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uui.ac.id

Lampiran 20 Hasil Pengujian ITS

HASIL PENGUJIAN ITS

Kadar Aspal	Substitusi	Tebal Sampel					koreksi	Diameter Sampel				A0	Arloji Stability			Stability			Angka Koreksi Tebal				Angka Koreksi Diameter				ITS 0 JAM	
		(mm)						(mm)								(kg)			Tebal Sampel		Koreksi		Diameter Sampel		Koreksi		Kpa	
		1	2	3	rata2			1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	awal	rata2
7,2%	0,0%	1	64,3	64	64,8	64,37	0,98	102,60	101,20	104,50	4,05	0,15	14	14,32	200,45	88,95	85,43	600	63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	208,93	202,10
		2	64,2	64,6	64	64,27	0,98	104,20	102,90	103,60	4,08	0,15	11	14,32	157,49	70,07		63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	163,49		
		3	63,8	62,7	64,2	63,57	1,00	102,30	101,40	101,30	4,00	0,16	15	14,32	214,76	97,25		63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	233,90		
	25,0%	1	64,2	64,4	64,8	64,47	0,98	102,40	102,00	101,90	4,02	0,16	13	14,32	186,13	82,39	78,18	600	63,5	65,1	1	0,96	3,9	4	0,16	0,156	194,52	184,60
		2	64,5	64,1	64,9	64,50	0,98	101,70	103,60	102,40	4,04	0,15	13	14,32	186,13	82,32		63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	193,34		
		3	64,2	64,9	64,1	64,40	0,98	101,40	102,20	101,10	4,00	0,16	11	14,32	157,49	69,83		63,5	65,1	1	0,96	3,9	4	0,16	0,156	165,94		
	50,0%	1	64,9	64,6	64	64,50	0,98	102,40	102,60	101,80	4,03	0,15	12	14,32	171,81	75,98	74,20	600	63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	179,01	173,67
		2	64,9	65,5	65,7	65,37	0,95	102,60	101,50	104,20	4,05	0,15	11	14,32	157,49	68,11		63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	137,52		
		3	65,5	64,9	65	65,13	0,93	101,20	101,90	101,60	4,00	0,16	13	14,32	186,13	78,52		65,1	66,7	0,93	0,93	4	4,1	0,156	0,152	184,48		
	75,0%	1	64,7	64,2	64,9	64,60	0,97	102,80	100,40	102,10	4,01	0,16	12	14,32	171,81	75,79	69,38	600	63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	179,18	160,34
		2	65,7	66,2	67,2	66,37	0,94	101,20	101,70	100,90	3,99	0,16	12	14,32	171,81	73,13		66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	169,14		
		3	67,5	67,2	67,6	67,43	0,91	104,30	102,60	101,50	4,05	0,15	10	14,32	143,18	59,21		66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	132,70		
	100,0%	1	67,9	67,5	67,2	67,53	0,91	103,20	102,60	102,50	4,05	0,15	9	14,32	128,86	53,14	61,80	600	66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	118,96	139,34
		2	66,4	66,7	66,9	66,67	0,93	102,30	102,70	102,40	4,03	0,15	11	14,32	157,49	66,48		65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	151,23		
		3	66,2	67,9	67,1	67,07	0,92	102,50	102,80	103,90	4,06	0,15	11	14,32	157,49	65,78		66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	147,83		

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
Ir. Berlian Kusnadi, M.Eng, IAW, ASEAN.Eng.
NIK : 01 611 0101

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

Yogyakarta, Oktober 2025
Peneliti
Diah Ayu Puspitaningrum
NIK : 21 511 252



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kalirang 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 21 Hasil Pengujian TSR

HASIL PENGUJIAN TSR

Kadar Aspal	Substitusi	Tebal Sampel				koreksi	Diameter Sampel				A 0	Arloji Stability			Stability			Angka Koreksi					Angka Koreksi					ITS 24 JAM	
		(mm)					(mm)								(kg)			Tebal Sampel		Koreksi			Tebal Sampel		Koreksi			Kpn	
		1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Mens	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	awal	rata2		
7.2%	0,0%	1	62,80	61,80	62,20	62,27	1,03	102,40	101,10	101,30	4,00	0,16	13,0	14,32	186,13	87,03	76,51	600	61,9	63,5	1,04	1	4,00	4	4,1	0,16	0,15	213,82	185,95
		2	61,40	62,40	62,60	62,13	1,03	103,20	104,00	102,60	4,07	0,15	11,5	14,32	164,65	77,24			61,9	63,5	1,04	1	4,07	4	4,1	0,16	0,15	186,97	
		3	63,10	63,20	63,60	63,30	1,01	102,40	102,10	101,60	4,02	0,16	10,0	14,32	143,18	65,27			61,9	63,5	1,04	1	4,02	4	4,1	0,16	0,15	157,05	
	25,0%	1	62,10	62,60	61,90	62,20	1,03	103,90	104,10	103,80	4,09	0,15	10,0	14,32	143,18	67,05	65,20	600	61,9	63,5	1,04	1	4,09	4	4,1	0,16	0,15	161,04	155,54
		2	63,00	62,40	63,10	62,83	1,02	103,10	104,10	103,20	4,07	0,15	10,0	14,32	143,18	66,03			61,9	63,5	1,04	1	4,07	4	4,1	0,16	0,15	157,73	
		3	64,90	65,10	65,00	65,00	0,96	101,40	101,10	100,80	3,98	0,16	10,0	14,32	143,18	62,51			63,5	65,1	1	0,96	3,98	3,9	4	0,16	0,16	147,86	
	50,0%	1	66,80	66,00	66,40	66,40	0,94	101,50	101,80	101,60	4,00	0,16	10,0	14,32	143,18	60,76	58,29	600	65,1	66,7	0,96	0,93	4,00	4	4,1	0,16	0,15	139,95	135,12
		2	65,10	65,90	65,80	65,60	0,95	103,40	103,30	103,00	4,06	0,15	9,5	14,32	136,02	58,65			65,1	66,7	0,96	0,93	4,06	4	4,1	0,16	0,15	134,52	
		3	64,80	65,70	65,60	65,37	0,96	101,20	101,70	101,30	3,99	0,16	9,0	14,32	128,86	55,82			65,1	66,7	0,96	0,93	3,99	3,9	4	0,16	0,16	130,50	
	75,0%	1	63,70	62,90	63,40	63,33	1,00	101,80	101,90	102,40	4,02	0,16	9,0	14,32	128,86	58,69	53,03	600	61,9	63,5	1,04	1	4,02	4	4,1	0,16	0,15	141,15	123,47
		2	67,30	66,90	65,90	66,70	0,93	101,40	102,70	101,70	4,01	0,16	8,5	14,32	121,70	51,34			66,7	69,9	0,93	0,89	4,01	4	4,1	0,16	0,15	117,35	
		3	65,80	66,50	66,10	66,13	0,94	102,80	103,70	102,40	4,05	0,15	8,0	14,32	114,54	49,05			66,7	68,3	0,93	0,89	4,05	4	4,1	0,16	0,15	111,91	
	100,0%	1	65,60	65,80	66,90	66,10	0,94	101,80	102,60	102,10	4,02	0,16	8,0	14,32	114,54	48,90	46,95	600	65,1	66,7	0,96	0,93	4,02	4	4,1	0,16	0,15	112,53	106,44
		2	65,70	66,90	66,60	66,40	0,94	103,00	103,20	102,80	4,06	0,15	7,5	14,32	107,38	45,57			65,1	66,7	0,96	0,93	4,06	4	4,1	0,16	0,15	103,31	
		3	68,10	68,20	68,30	68,20	0,89	102,10	102,30	102,50	4,03	0,15	8,0	14,32	114,54	46,37			66,7	68,3	0,93	0,89	4,03	4	4,1	0,16	0,15	103,28	

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
Ir. Bakti Kusnanto, M. Eng.
NIK : 21 511 10101

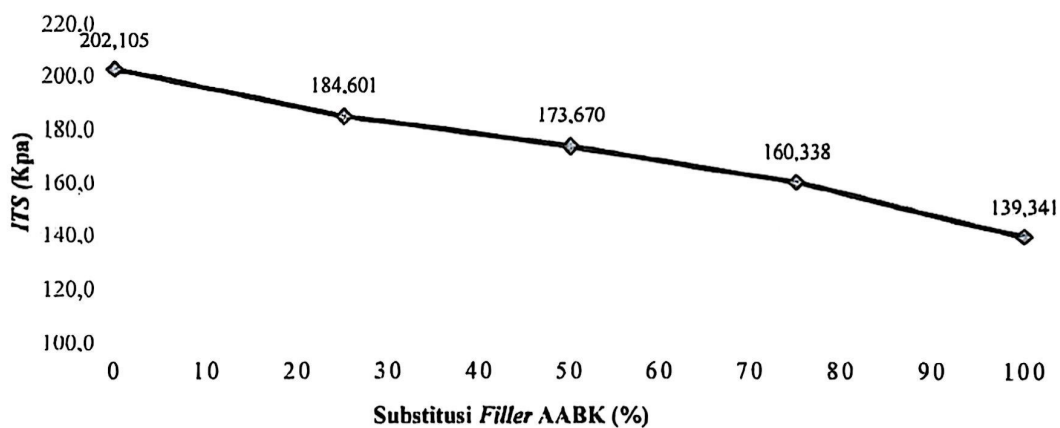
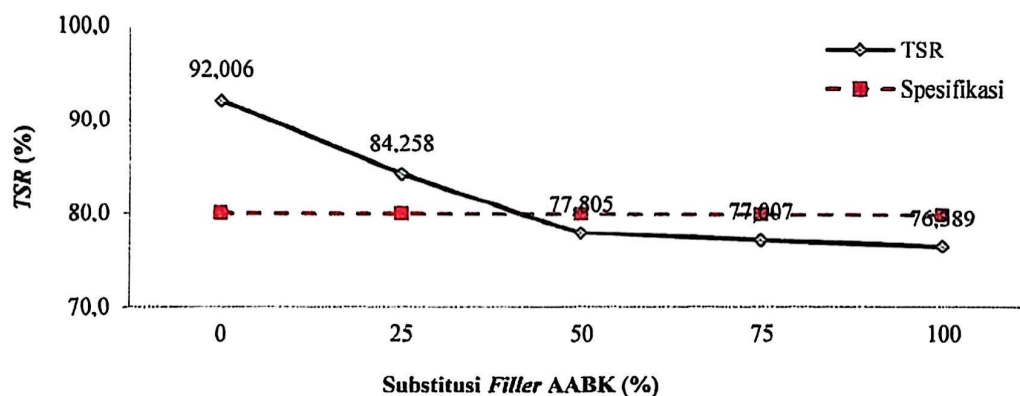
Mengetahui
Kalab. Jalan Raya
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Oktober 2025
Peneliti
Diah Ayu Puspitaningrum
NIM : 21 511 252

Lampiran 22 Rekapitulasi Pengujian ITS & TSR

REKAPITULASI PENGUJIAN ITS & TSR

Variasi Substitusi (%)	KAO (%)	ITS	ITS 24 Jam	TSR (%)
0	7,2	202,105	185,948	92,006
25		184,601	155,542	84,258
50		173,670	135,123	77,805
75		160,338	123,472	77,007
100		139,341	106,442	76,389



Disahkan Oleh
Mansur Labayudharm Jurusan Teknik Sipil
Ir. Berhan Kusnadi, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

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

Yogyakarta, Oktober 2025
Peneliti
Diah Ayu Puspitaningrum
NIM : 21 511 252

Lampiran 23 Hasil Pengujian CL

HASIL PENGUJIAN CL

Variasi Substitusi (%)	Sampel	Berat Benda Uji (gram)		Berat Sebelum Di Abrasi (gram)	Kehilangan Berat (%)	Rata-rata Kehilangan Berat (%)
		Mo	Mi	(Mo-Mi)	L	
0	1	1178,37	1156,67	21,7	1,8415	2,198
	2	1181,85	1148,59	33,26	2,8142	
	3	1184	1161,04	22,96	1,9392	
25	1	1174,92	1151,79	23,13	1,9686	2,282
	2	1168,03	1137,78	30,25	2,5898	
	3	1178,89	1151,93	26,96	2,2869	
50	1	1183,12	1149,27	33,85	2,8611	2,799
	2	1173,02	1133,53	39,49	3,3665	
	3	1171,39	1145,98	25,41	2,1692	
75	1	1176,97	1149,1	27,87	2,3679	2,853
	2	1174,64	1132,27	42,37	3,6071	
	3	1173,01	1142,7	30,31	2,5840	
100	1	1178,05	1124,94	53,11	4,5083	3,987
	2	1174,46	1124,64	49,82	4,2419	
	3	1177,77	1139,95	37,82	3,2112	

Yogyakarta, Oktober 2025

Disahkan Oleh

Mengetahui

 Peneliti

Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Kalab. Jalan Raya


Ir. Berhan Kusnani, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101


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

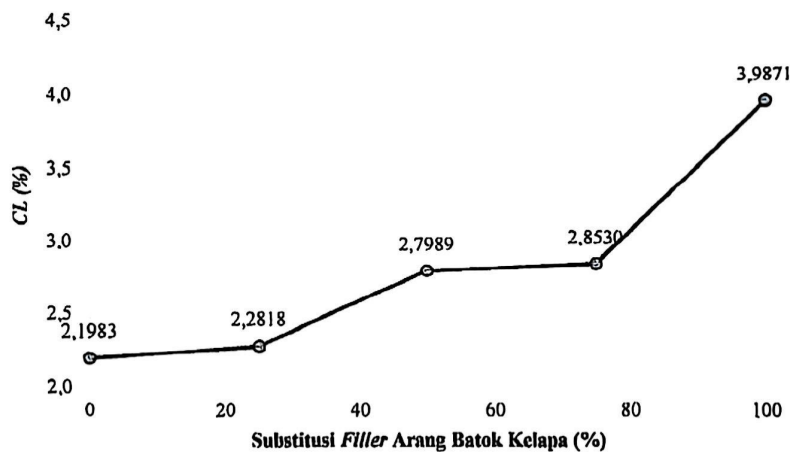

Diah Ayu Puspitaningrum
NIM : 21 511 252



Lampiran 24 Rekapitulasi Pengujian CL

REKAP PENGUJIAN CL

Variasi Substitusi (%)	KAO (%)	CL (%)
0	7,2	2,20
25		2,28
50		2,80
75		2,85
100		3,99



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berhan Khusari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Oktober 2025

Peneliti

Diah Ayu Puspitaningrum
NIM : 21 511 252