

TUGAS AKHIR

ANALISIS *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE* (AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI (*RICE HUSK ASH*) DAN ARANG KAYU UNTUK PERKERASAN JALAN

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh:

Amin Zuhad

NIM: 30202100007

Yuli Setiawan

NIM: 30202100219

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC)
DENGAN PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI (RICE HUSK ASH) DAN
ARANG KAYU UNTUK PERKERASAN JALAN**



Amin Zuhad
NIM : 30202100007



Yuli Setiawan
NIM : 30202100219

Telah disetujui dan disahkan di Semarang,

2025

Tim Penguji

1. **Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST., MT.**
NIDN: 0611118903
2. **Dr. Abdul Rochim, ST., MT.**
NIDN: 0608067601

Tanda Tangan

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 29 / A.2 / SA-T / VIII / 2025

Pada hari ini tanggal 14/03/2025 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing :

Nama : Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST.,MT.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Amin Zuhad
NIM : 30202100007

Yuli Setiawan
NIM : 30202100219

Judul : “ANALISIS ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC)
DENGAN PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI (RICE HUSK ASH) DAN
ARANG KAYU UNTUK PERKERASAN JALAN”

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	14/03/2025	ACC
2	Seminar Proposal	30/05/2025	
3	Pengumpulan data	01/06/2025	
4	Analisis data	25/07/2025	
5	Penyusunan laporan	28/07/2025	
6	Selesai laporan	01/08/2025	

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST.,MT..

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Kami yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Amin Zuhad
NIM : 30202100007

NAMA : Yuli Setiawan
NIM : 30202100219

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :
"ANALISIS ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC)
DENGAN PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI (*RICE HUSK ASH*)
DAN ARANG KAYU UNTUK PERKERASAN JALAN'

benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, Agustus 2025

Yang membuat pernyataan 1

Yang membuat pernyataan 2



Amin Zuhad
NIM : 30202100007



Yuli Setiawan
NIM : 30202100219

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Amin Zuhad
NIM : 30202100007

NAMA : Yuli Setiawan
NIM : 30202100219

JUDUL TUGAS AKHIR :
“ANALISIS *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE* (AC-WC)
DENGAN PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI (*RICE HUSK ASH*)
DAN ARANG KAYU UNTUK PERKERASAN JALAN”

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijasah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, Agustus 2025

Yang membuat pernyataan 1

Yang membuat pernyataan 2


Amin Zuhad
NIM : 30202100007




Yuli Setiawan
NIM : 30202100219

MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ وَلَوْ ءَامَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِّنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ

artinya: “Kamu adalah umat yang terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh kepada yang ma'ruf, dan mencegah dari yang munkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka, di antara mereka ada yang beriman, dan kebanyakan mereka adalah orang-orang yang fasik.” (QS. Ali Imran: 110)

إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

Artinya: “Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”

(QS Al-Insyirah: 6).

لَا يُكَلِّفُ اللَّهُ نَفْسًا إِلَّا وُسْعَهَا

Artinya: “Allah tidak membebani seseorang, kecuali menurut kesanggupannya.”

(QS. Al-Baqarah: 286)

وَأَنْ لِّئِنْ لِلْإِنْسَانِ إِلَّا مَا سَعَىٰ

Artinya: “dan bahwasanya manusia hanya memperoleh apa yang telah diusahakannya.” (QS. An-Najm: 39)

إِنَّ اللَّهَ لَا يُغَيِّرُ مَا بِقَوْمٍ حَتَّىٰ يُغَيِّرُوا مَا بِأَنفُسِهِمْ وَإِذَا أَرَادَ اللَّهُ بِقَوْمٍ سُوءًا فَلَا مَرَدَّ لَهُ وَمَا لَهُمْ مِنْ دُونِهِ مِنْ ءَالٍ

Artinya: “Sesungguhnya Allah tidak mengubah keadaan sesuatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri. Dan apabila Allah menghendaki keburukan terhadap sesuatu kaum, maka tak ada yang dapat menolaknya; dan sekali-kali tak ada pelindung bagi mereka selain Dia.” (QS. Ar Ra'd: 11)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah yang saya rasakan hingga saat ini. Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya tercinta, Bapak mulyanto dan Ibu Muamanah terima kasih selalu memberikan doa, semangat, motivasi, dukungan, dan pengorbanan yang tiada terhingga baik berupa materi maupun moril. Sebagai tanda bakti, hormat, dan rasa terima kasih saya persembahkan Tugas Akhir dan Gelar Sarjana ini untuk bapak dan ibu.
2. Mbah tin yang selalu membantu dengan dana yang sangat membantu sekali , dukungan, dan doa selama menempuh pendidikan dan kuliah serta yang selalu ada di saat dalam kesusahan .
3. Bapak Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT., dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen Fakultas Teknik Progam Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung yang telah memberikan ilmunya.
5. Yuli Setiawan yang telah menjadi partner Tugas Akhir saya, terimakasih sudah berjuang bersama menyelesaikan Tugas Akhir dan melewati suka duka selama mengerjakan Tugas Akhir.
6. Teman – teman Fakultas Teknik Angkatan 2021 yang tidak bisa saya sebut satu – persatu.

Amin Zuhad

NIM : 30202100007

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah yang saya rasakan hingga saat ini. Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya tercinta, Bapak Haryono dan Ibu Suyati terima kasih selalu memberikan doa, semangat, motivasi, dukungan, dan pengorbanan yang tiada terhingga baik berupa materi maupun moril. Sebagai tanda bakti, hormat, dan rasa terima kasih saya persembahkan Tugas Akhir dan Gelar Sarjana ini untuk bapak dan ibu.
2. Adik saya Saudari Rahma Dwi Nursa Fitri yang selalu memberi semangat, dukungan, dan doa selama menempuh pendidikan dan mengerjakan Tugas Akhir.
3. Bapak Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST., MT., dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen Fakultas Teknik Progam Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung yang telah memberikan ilmunya.
5. Amin Zuhad yang telah menjadi partner Tugas Akhir saya, terimakasih sudah berjuang bersama menyelesaikan Tugas Akhir dan melewati suka duka selama mengerjakan Tugas Akhir.
6. Teman – teman Fakultas Teknik Angkatan 2021 yang tidak bisa saya sebut satu – persatu.

Yuli Setiawan

NIM : 30202100219

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Dengan menyebut asma Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, segala puja dan puji syukur bagi Allah Subhanahu Wa ta'ala yang atas Rahmat, Taufiq, dan Hidayah Nya, kami telah apat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) Dengan Penambahan Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash*) Dan Arang Kayu Untuk Perkerasan Jalan”.

Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat terwujud atas pertolongan Allah Tuhan Yang Maha Penolong dan atas bantuan serta dukungan beberapa pihak.

Untuk itu ingin mengucapkan terima kasih kepada kepada :

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan, kesabaran dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
4. Semua pihak yang membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunan dalam penulisan. Semoga Tugas Akhir dapat bermanfaat bagi kita semua dan tidak hanya bagi penulis saja.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Semarang, 2025

Amin Zuhad
Yuli Setiawan

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO.....	vi
PERSEMBAHAN	vii
PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR GRAFIK.....	xvi
ABSTRAK	xviii
ABSTRACT.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Perkerasan Jalan	5
2.1.1. Perkerasan Aspal Beton	5
2.2. Klasifikasi Kelas Jalan	6
2.3. Penyusunan Perkerasan Jalan.....	7
2.3.1 Pengertian Agregat.....	7
2.3.2 Persyaratan Agregat	8
2.3.3 Gradasi Agregat	10
2.4. Sifat dan Karakteristik Campuran Aspal Beton	11

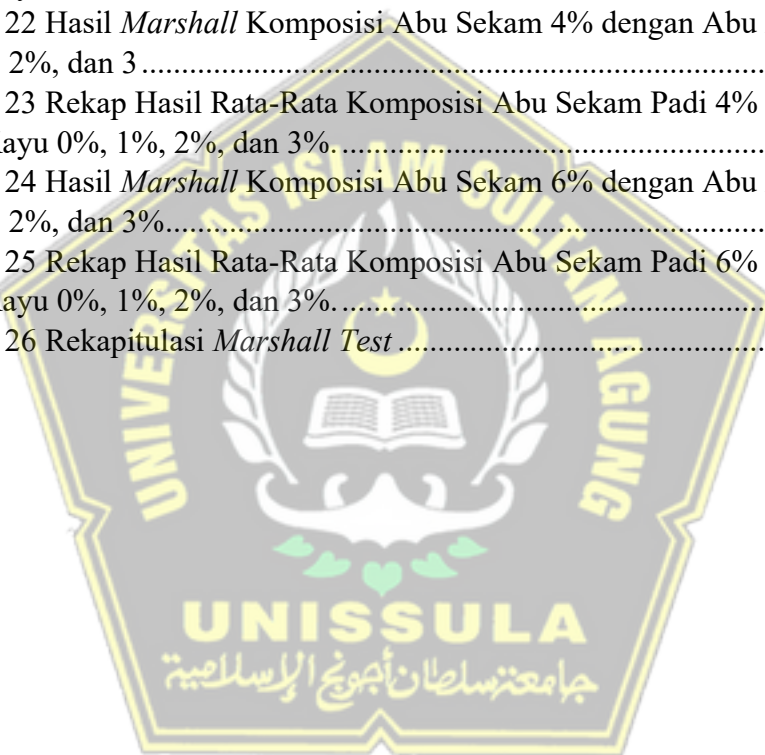
2.5.	Abu Sekam padi	12
2.6.	Abu Arang Kayu	12
2.7.	<i>Marshall Test</i>	13
2.7.1	Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	17
2.8.	Penelitian Terdahulu Yang Sejenis	18
BAB III METODE PENELITIAN.....		22
3.1.	Metode Penelitian.....	22
3.2.	Kebutuhan Material dan Bahan Penelitian.....	22
3.2.1.	Kebutuhan Material.....	23
3.2.2.	Kebutuhan Alat	23
3.3.	Keperluan dan Analisis Data.....	25
3.3.1.	Kebutuhan Data.....	25
3.3.2.	Analisis Data	25
3.4.	Bagan Alir	26
3.5.	Pengumpulan Data	27
3.6.	Prosedur Perencanaan Penelitian	27
3.7.	Pemeriksaan Karakteristik Material	28
3.7.1.	Pemeriksaan Agregat Kasar dan Halus.....	28
3.7.2.	Pemeriksaan Sifat Fisis Aspal.....	29
3.8.	Rancangan Campuran Aspal Beton (<i>job mix design</i>)	29
3.9.	Prosedur Kerja.....	39
3.9.1.	Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>).....	39
3.9.2.	Tahapan Pembuatan Benda Uji.....	39
3.9.3.	Metode Pengujian Sampel.....	40
3.9.4.	Pengujian <i>Stability</i> dan <i>Flow</i>	41
3.10.	Metode Analisis	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		44
4.1.	Pendahuluan	44
4.2.	Pengujian Material	46
4.2.1.	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Penetrasi	46
4.2.2.	Pengujian Gradasi <i>Aggregat</i>	47
4.2.3.	Pengujian Gradasi <i>Aggregat</i> pada <i>Hot Bin II</i>	48
4.2.4.	Pengujian Gradasi <i>Aggregat Hot Bin III</i>	49
4.2.5.	Pengujian Gradasi <i>Aggregat Hot Bin IV</i>	50

4.2.6.	Pengujian Pasir.....	51
4.2.7.	Pengujian <i>Filler</i> (Semen).....	52
4.2.8.	Abu Sekam Padi (<i>Rice Husk Ash</i>).....	53
4.2.9.	Hasil Perhitungan Kombinasi Agregat.....	54
4.3.	Hasil Perhitungan Kombinasi	56
4.4.	Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (AASHTO-209s)	56
4.4.1.	Pengujian Berat Jenis Dengan Campuran Komposisi Normal	56
4.4.2.	Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>).....	57
4.4.3.	Ringkasan Hasil Pengujian	58
4.5.	Pembuatan Benda Uji.....	60
4.6.	Pemeriksaan Berat Jenis Campuran (GMM) Pada Aspal Modifikasi... 60	
4.6.1.	Berat Jenis Campuran Bahan Tambah Abu Sekam (<i>rice husk ash</i>) 0% -1% (ASP0BU1 - ASP1BU1) dan Arang Kayu (0%,1%,2%,3%).....	61
4.6.2.	Berat Jenis Campuran Bahan Tambah Abu Sekam (<i>rice husk ash</i>) 1% - 2% (ASP1BU2 – ASP2BU2) dan Arang Kayu (0%,1%,2%,3%).....	62
4.6.3.	Berat Jenis Campuran Bahan Tambah Abu Sekam (<i>rice husk ash</i>) 2% - 3% (ASP2BU3 – ASP3BU4) dan Arang Kayu (0%,1%,2%,3%).....	62
4.7.	Hasil Pemeriksaan <i>Marshall Test</i>	63
4.7.1.	Hasil <i>Marshall Test</i> Benda Uji Kombinasi Abu Sekam Padi (<i>rice husk ash</i>) 0% Dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.	64
4.7.2.	Hasil <i>Marshall Test</i> Benda Uji Kombinasi Abu Sekam Padi (<i>rice husk ash</i>) 2% Dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.	71
4.7.3.	Hasil <i>Marshall Test</i> Benda Uji Kombinasi Abu Sekam Padi (<i>rice husk ash</i>) 4% Dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.	77
4.7.4.	Hasil <i>Marshall Test</i> Benda Uji Kombinasi Abu Sekam Padi (<i>rice husk ash</i>) 6% Dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.	83
4.7.5.	Rekapitulasi Hasil <i>Marshall Test</i>	90
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		97
5.1.	Kesimpulan	97
5.2.	Saran.....	97
DAFTAR PUSTAKA		xx
LAMPIRAN.....		xxiii

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi kelas Jalan.....	7
Tabel 2. 2 Persyaratan Agregat Halus.....	9
Tabel 2. 3 Persyaratan Agregat Kasar.....	9
Tabel 2. 4 Amplop Gradasi Gabungan untuk Campuran Beraspal.....	11
Tabel 2. 5 Ketentuan untuk Aspal Keras Pen 60/70	11
Tabel 2. 6 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC).....	12
Tabel 3. 1 Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	30
Tabel 3. 2 Campuran Asal Beton Normal.....	30
Tabel 3. 3 Campuran Aspal Beton dengan ASP 2% dan AK 0%	30
Tabel 3. 4 Campuran Aspal Beton dengan ASP 4% dan AK 0%	31
Tabel 3. 5 Campuran Aspal Beton dengan ASP 6% dan AK 0%	31
Tabel 3. 6 Campuran Aspal Beton dengan ASP 0% dan AK 1%	32
Tabel 3. 7 Campuran Aspal Beton dengan ASP 2% dan AK 1%	32
Tabel 3. 8 Campuran Aspal Beton dengan ASP 4% dan AK 1%	33
Tabel 3. 9 Campuran Aspal Beton dengan ASP 6% dan AK 1%	33
Tabel 3. 10 Campuran Aspal Beton dengan ASP 0% dan AK 2%	34
Tabel 3. 11 Campuran Aspal Beton dengan ASP 2% dan AK 2%	34
Tabel 3. 12 Campuran Aspal Beton dengan ASP 4% dan AK 2%	35
Tabel 3. 13 Campuran Aspal Beton dengan ASP 6% dan AK 2%	35
Tabel 3. 14 Campuran Aspal Beton dengan ASP 0% dan AK 3%	36
Tabel 3. 15 Campuran Aspal Beton dengan ASP 2% dan AK 3%	36
Tabel 3. 16 Campuran Aspal Beton dengan ASP 4% dan AK 3%	37
Tabel 3. 17 Campuran Aspal Beton dengan ASP 6% dan AK 3%	37
Tabel 3. 18 Jumlah Sampel Variasi Abu Sekam Padi dan Arang Kayu	38
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Penetrasi 60/70	46
Tabel 4. 2 Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat	47
Tabel 4. 3 Hasil Analisa Pembagian Butiran <i>Hot Bin II</i>	48
Tabel 4. 4 Hasil Analisa Pembagian <i>Hot Bin III</i>	49
Tabel 4. 5 Hasil Analisa Pembagian <i>Hot Bin IV</i>	50
Tabel 4. 6 Hasil Analisa Pembagian Butiran Pasir	51
Tabel 4. 7 Hasil Analisa Pembagian Butiran <i>Filler</i> (Semen).....	52
Tabel 4. 8 Hasil Analisa Pembagian Butiran Abu Sekam Padi	53
Tabel 4. 9 Perhitungan Kombinasi Agregat.....	54
Tabel 4. 10 Spesifikasi Batas Kombinasi Lolos Saringan	55
Tabel 4. 11 Pemeriksaan Berat Jenis Komposisi Normal	57
Tabel 4. 12 Rincian Benda Uji.....	58
Tabel 4. 13 Komposisi Material AC-WC	59
Tabel 4. 14 Modifikasi dan Variasi Benda Uji	60
Tabel 4. 15 Pemeriksaan berat jenis pada campuran Bahan Tambah Abu Sekam (<i>rice husk ash</i>) 0% - 1% (ASP0BU1 - ASP1BU1) dan Arang Kayu (0%,1%,2%,3%).....	61

Tabel 4. 16 Pemeriksaan berat jenis pada campuran Bahan Tambah Abu Sekam (<i>rice</i>	62
Tabel 4. 17 Pemeriksaan berat jenis pada campuran Bahan Tambah Abu Sekam (<i>rice husk ash</i>) 2% - 3% (ASP2BU3 – ASP3BU4) dan Arang Kayu (0%,1%,2%,3%).....	63
Tabel 4. 18 Hasil <i>Marshall</i> Komposisi Abu Sekam 0% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	65
Tabel 4. 19 Rekap Hasil Rata-Rata Komposisi Abu Sekam Padi 0% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	70
Tabel 4. 20 Hasil <i>Marshall</i> Komposisi Abu Sekam 2% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3	71
Tabel 4. 21 Rekap Hasil Rata-Rata Komposisi Abu Sekam Padi 2% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	77
Tabel 4. 22 Hasil <i>Marshall</i> Komposisi Abu Sekam 4% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3	78
Tabel 4. 23 Rekap Hasil Rata-Rata Komposisi Abu Sekam Padi 4% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	83
Tabel 4. 24 Hasil <i>Marshall</i> Komposisi Abu Sekam 6% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	84
Tabel 4. 25 Rekap Hasil Rata-Rata Komposisi Abu Sekam Padi 6% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	89
Tabel 4. 26 Rekapitulasi <i>Marshall Test</i>	90



DAFTAR GAMBAR

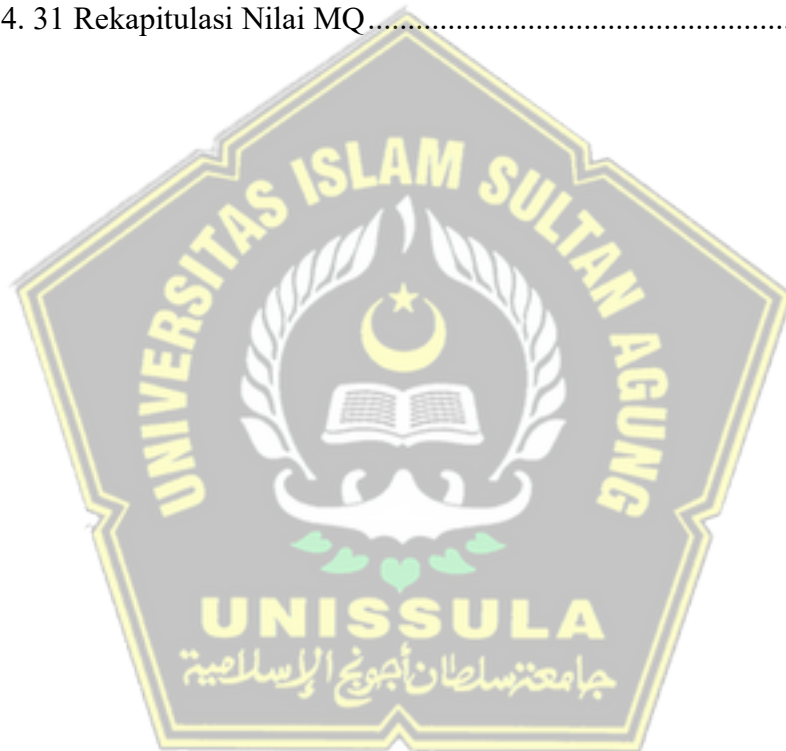
Gambar 2. 1 Perkerasan Lentur.....	5
Gambar 2. 2 Perkerasan Aspal Beton	6
Gambar 2. 3 <i>Marshall Compaction Hammer & Alat Marshall Test</i>	13
Gambar 3. 1 Bagan Alir Penelitian	26
Gambar 4. 1 <i>Asphalt Mixing Plant (AMP) PT. Semarang</i>	44
Gambar 4. 2 Aspal Penetrasi 60/70.....	45
Gambar 4. 3 Abu Sekam Padi.....	45
Gambar 4. 4 Arang Kayu	45



DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Kombinasi Gradasi Agregat	
Sumber : Hasil Penelitian, 2025.....	55
Grafik 4. 2 Nilai VIM Pada Variasi Abu Sekam 0% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	66
Grafik 4. 3 Nilai VMA Pada Variasi Abu Sekam 0% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	66
Grafik 4. 4 Nilai VFB Pada Variasi Abu Sekam 0% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	67
Grafik 4. 5 Nilai Stabilitas Pada Variasi Abu Sekam 0% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	68
Grafik 4. 6 Nilai <i>Flow</i> Pada Variasi Abu Sekam 0% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	68
Grafik 4. 7 Nilai <i>Marshall Quotient</i> Pada Variasi Abu Sekam 0% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	69
Grafik 4. 8 Nilai VIM Pada Variasi Abu Sekam 2% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	72
Grafik 4. 9 Nilai VMA Pada Variasi Abu Sekam 2% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	73
Grafik 4. 10 Nilai VFB Pada Variasi Abu Sekam 2% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	74
Grafik 4. 11 Nilai Stabilitas Pada Variasi Abu Sekam 0% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	74
Grafik 4. 12 Nilai <i>Flow</i> Pada Variasi Abu Sekam 2% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	75
Grafik 4. 13 Nilai <i>Marshall Quotient</i> Pada Variasi Abu Sekam 2% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	76
Grafik 4. 14 Nilai VIM Pada Variasi Abu Sekam 4% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	79
Grafik 4. 15 Nilai VMA Pada Variasi Abu Sekam 4% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	79
Grafik 4. 16 Nilai VFB Pada Variasi Abu Sekam 4% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	80
Grafik 4. 17 Nilai Stabilitas Pada Variasi Abu Sekam 4% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	81
Grafik 4. 18 Nilai <i>Flow</i> Pada Variasi Abu Sekam 4% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	81
Grafik 4. 19 Nilai <i>Marshall Quotient</i> Pada Variasi Abu Sekam 4% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	82
Grafik 4. 20 Nilai VIM Pada Variasi Abu Sekam 6% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	85
Grafik 4. 21 VMA untuk Komposisi Abu Sekam 6% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	85

Grafik 4. 22 Nilai VFB Pada Variasi Abu Sekam 6% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	86
Grafik 4. 23 Nilai Stabilitas Pada Variasi Abu Sekam 6% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	87
Grafik 4. 24 Nilai <i>Flow</i> Pada Variasi Abu Sekam 6% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	87
Grafik 4. 25 Nilai Marshall Quotient Pada Variasi Abu Sekam 6% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.....	88
Grafik 4. 26 Rekapitulasi Nilai VMA.....	93
Grafik 4. 27 Rekapitulasi Nilai VIM.....	94
Grafik 4. 28 Rekapitulasi Nilai VFB.....	94
Grafik 4. 29 Rekapitulasi Nilai Stabilitas	95
Grafik 4. 30 Rekapitulasi Nilai <i>Flow</i>	95
Grafik 4. 31 Rekapitulasi Nilai MQ.....	96



**ANALISIS ASPHALT WEARING COURSE (AC-WC) DENGAN
PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI (*RICE HUSK ASH*) DAN ARANG
KAYU UNTUK PERKERASAN JALAN**

ABSTRAK

Perkerasan jalan umumnya menggunakan lapisan AC-WC sebagai lapisan aus atau lapisan permukaan pada konstruksi jalan. Sering berjalannya waktu meningkatnya volume lalu lintas dan kondisi lingkungan yang semakin buruk, limbah Abu sekam padi dan Abu arang kayu di jadikan bahan tambah pada campuran AC-WC . Penambahan bahan campuran di harapkan dapat meningkatkan performa dan memenuhi kriteria marshall. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menginovasi material substitusi dan bahan tambah kedalam campuran aspal , dengan harapan dapat memenuhi spesifikasi parameter - parameter marshall.

Penelitian ini mengguankan metode eksperimen dengan percobaan *marshall Test* yang akan menghasilkan nilai VMA (*Void in The Aggregat*), VIM (*Void in The Mix*), VFB (*Void Filled Bitumen*), *Flow* dan MQ (*Marshall Quotient*). Pada penelitian ini kadar Abu Sekam Padi yang di gunakan Adalah 0%,2%,4%,6%. Kadar Abu Arang Kayu yang digunakan adalah 0%,1%,2%,3%.

Hasil penelitian yang telah dilakukan maka *Job Mix Design* karakteristik terbaik dari *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) dengan bahan tambah Abu sekam padi (*rice husk ash*) 0% dan Abu arang kayu 1% dimana hasil dari pengujian tersebut memenuhi sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018 yang dapat dilihat pada halaman 100 Tabel 4.22. Hasil *Marshall* Benda Uji dengan nilai (VMA 20.46), (VIM 4.75), (VFB 76.82), (Stabilitas 1292,57), (*Flow* 3,46), (*Marshall Quontient* 373.58) dan disimpulkan bahwa dapat digunakan sebagai perkerasan jalan , Stabilitas marshall tertinggi diperoleh pada variasi ASP1BU4 (Abu Sekam Padi 6% dan Abu Arang Kayu 1%) dengan nilai stabilitas sebesar 1639,44 kg.

Kata Kunci : *rice husk ash*, Abu arang kayu, AC-WC, *Marshall Test*

**ANALYSIS OF ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC)
WITH THE ADDITION OF RICE HUSK ASH AND WOOD CHARCOAL
ASH FOR ROAD PAVEMENT**

ABSTRACT

Road pavement generally uses AC-WC layers as a wearing layer or surface layer in road construction. As time goes by, traffic volume increases and environmental conditions worsen, rice husk ash and wood charcoal ash are used as additives in AC-WC mixtures. The addition of mixed materials is expected to improve performance and meet Marshall criteria. The purpose of this study is to innovate substitute materials and additives into asphalt mixtures, with the hope of meeting Marshall parameter specifications.

This study uses an experimental method with a Marshall Test experiment which will produce VMA (Void in The Aggregate), VIM (Void in The Mix), VFB (Void Filled Bitumen), Flow and MQ (Marshall Quotient) values. In this study, the levels of Rice Husk Ash used were 0%, 2%, 4%, 6%. Wood Charcoal Ash Content 0%, 1%, 2%, 3%.

The results of the research that has been done, the Job Mix Design has the best characteristics of Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) with additional materials of 0% rice husk ash and 1% wood charcoal ash where the results of the test meet the specifications of Bina Marga 2018 which can be seen on page 100 Table 4.22. Marshall Results of Test Objects with values (VMA 20.46), (VIM 4.75), (VFB 76.82), (Stability 1292.57), (Flow 3.46), (Marshall Quotient 373.58) and it is concluded that it can be used as road pavement, The highest marshall stability was obtained in the ASP1BU4 variation (6% Rice Husk Ash and 1% Wood Charcoal Ash) with a stability value of 1639.44 kg.

Keywords: *rice husk ash, wood charcoal ash, AC-WC, Marshall Test*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada saat ini, Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan yang cukup pesat untuk segi konektivitas, mobilitas serta pertumbuhan ekonomi. Dengan adanya hal itu, maka diperlukan peningkatan pada infrastruktur jalan. Perkerasan jalan salah satu komponen utama pada infrastruktur jalan yang memberikan keamanan, kenyamanan serta memperlancar jalannya mobilitas di Indonesia. Salah satu perkerasan jalan yang digunakan di Indonesia yaitu perkerasan jalan menggunakan aspal beton (*Asphalt Concrete*) yang berguna untuk menopang beban kendaraan yang melintas, Akbar, Said Jalalul, (2012).

Aspal beton sering juga disebut dengan Laston (Lapisan Aspal Beton) yang digunakan pada lapisan permukaan yang struktural atau lapis pada pondasi atas. Terdapat 3 (tiga) lapisan Laston yang digunakan pada perkerasan jalan yaitu Laston Lapis Aus (AC-WC), Laston Lapis Permukaan Antara (AC-BC) dan Laston Lapis Pondasi (AC-Base) (Bina Marga., 2018).

Jenis perkerasan jalan yang populer dalam pembangunan jalan salah satunya adalah *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC). Aspal jenis ini adalah hasil dari pencampuran dan pemadatan material agregat kasar, agregat halus, aspal, dan *filler* sebagai lapisan perkerasan jalan.

Pada suatu daerah memiliki potensi besar dalam pengembangan infrastruktur jalan tetapi masih banyak menggunakan material bahan konstruksi jalan yang menggunakan bahan impor. Oleh karena itu, pemanfaatan bahan alam bisa menjadi solusi alternatif sebagai penambahan material bahan dalam infrastruktur jalan yang bertujuan memperkuat lapisan perkerasan jalan AC-WC Akifah, Farah, Zairipan Jaya (2024). Penambahan bahan untuk lapisan AC-WC berupa abu sekam padi (*rice husk ash*) dan Abu arang kayu. Ketersediaan bahan abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu arang kayu dapat ditemukan di daerah pedesaan seperti di daerah kab. Grobogan. Lokasi tersebut menjadi tempat mencari bahan material yang akan digunakan untuk penelitian perkerasan jalan. Bahan abu sekam padi didapatkan dari hasil pembakaran padi atau gandum, sehingga memiliki partikel serta berat jenis

yang kecil. Pemanfaatan material limbah arang kayu tumbuk sebagai bahan tambah *filler* pada campuran perkerasan jalan dapat menjadi solusi alternatif dalam mengurangi penggunaan semen atau abu batu yang tergolong cukup mahal.

Pada penelitian ini menggunakan *marshall test* dengan penggunaan bahan tambah abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu arang kayu. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui karakteristik material dan kualitas pada perkerasan yang dihasilkan serta memanfaatkan melimpahnya bahan tambah disekitar. Digunakannya *marshall test* pada penelitian ini karena umum digunakan pada pengujian campuran perkerasan jalan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh dari pencampuran pada *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) dengan bahan tambah abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu arang kayu?
2. Bagaimana stabilitas dari penambahan material abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu arang kayu terhadap *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) pada perkerasan jalan?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang diatas didapatkan tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Mengetahui komposisi *Job Mix Design* terbaik dari pemanfaatan bahan abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu arang kayu sebagai bahan tambah pada *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) pada perkerasan jalan.
2. Mengetahui stabilitas tertinggi dari pencampuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) dengan abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu arang kayu sebagai bahan tambah untuk perkerasan jalan.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Secara Teoritis

Menambah ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil mengenai penambahan abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu arang kayu terhadap *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) untuk perkerasan jalan.

2. Secara Praktis

Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan ilmu pengetahuan mengenai pengaruh dari penambahan abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu arang kayu terhadap *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) untuk perkerasan jalan.

1.5. Batasan Masalah

Batasan-batasan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan bahan aspal dengan penetrasi 60/70 yang diambil dari *Asphalt Mixing Plant* (AMP) PT. Semarang Multi Cons Kaliwungu Kendal.
2. Menggunakan bahan tambah abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu arang kayu yang diambil dari daerah di kab. Grobogan.
3. Menggunakan 0%,2%,4%,6% untuk penambahan abu sekam padi (*rice husk ash*).
4. Menggunakan 0%,1%,2%,3% untuk penambahan abu arang kayu.
5. Menguji benda uji dengan *Marshall test* yang meliputi Stabilitas, Kelelehan (*Flow*), VMA (*Void In Mineral Aggregate*), VIM (*Void In The Mix*), VFA (*Void Filled With Asphalt*), dan Hasil bagi *Marshall* (*Marshall Quantient*).
6. Penelitian hanya dilakukan di Laboratorium Jalan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung dan tidak dilakukan penghampanan di lapangan.

1.6. Sistematika Penulisan

Pada penyusunan laporan tugas akhir ini secara sistematis terdiri dari beberapa bab dan sub bab sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi penjelasan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, Batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi tinjauan dan dasar-dasar teori yang digunakan sebagai pedoman serta acuan dalam pemecahan masalah.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini berisi metode, proses ataupun tata cara yang digunakan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini baik berupa pengumpulan data atau yang lainnya.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini terdiri dari hasil analisis yang dilakukan pada penelitian tugas akhir ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

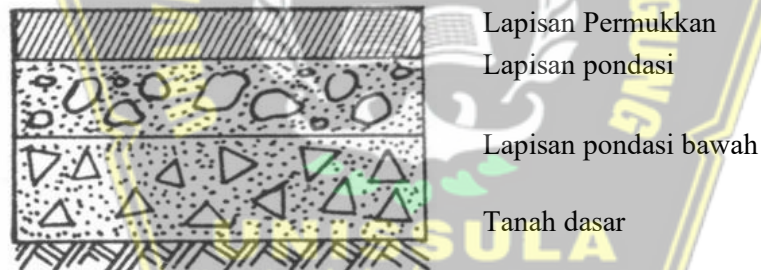
Bab ini berisi Kesimpulan dan saran dari hasil analisis yang didapatkan pada penulisan tugas akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan memiliki fungsi lain dari pelayanan transportasi yaitu sebagai pembagi beban pada lalu lintas secara merata dari arah horizontal maupun vertikal, lalu diteruskan ke *subgrade* (tanah dasar) sehingga beban terhadap tanah sesuai dengan daya dukung yang telah diizinkan. Perkerasan jalan memiliki beberapa jenis, meliputi perkerasan lentur (*Flexible Pavement*), perkerasan rigid (*Rigid Pavement*), perkerasan komposit dan perkerasan dengan bahan komposisi serta bahan pengikat lainnya. Perkerasan jalan dengan aspal atau bitumen berfungsi sebagai bahan lekat biasa disebut dengan perkerasan lentur. Perkerasan ini sering digunakan pada lalu lintas ringan ataupun sedang. Perkerasan ini terdiri dari lapisan permukaan (*surface course*), lapisan pondasi (*base course*), lapisan pondasi bawah (*sub base course*). (Hermansyah Teknik sipil (2022))



Gambar 2. 1 Perkerasan Lentur

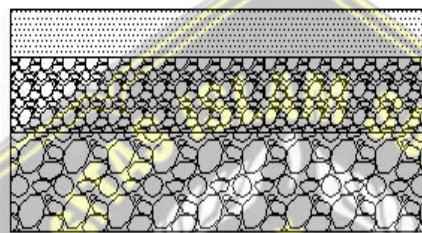
(Sumber : Dapartemen Pekerjaan Umum, 1983, Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton, Direktorat Jenderal Bina Marga)

2.1.1. Perkerasan Aspal Beton

Menurut Bina Marga (2018), Pada Lapisan Aspal Beton (Laston) terdapat 3 (tiga) lapisan Laston yang digunakan pada perkerasan jalan yaitu lapis permukaan (AC WC), lapis pondasi (AC-BC) dan lapis pondasi bawah (AC-Base). Pada ketiga Laston ini memiliki ketebalan mininumnya masing-masing, AC-WC dengan ketebalan minimum 4 cm, AC-BC dengan ketebalan minimum 6 cm dan AC-Base

dengan ketebalan minimum 7,5 cm.(Marshall pada Campuran Aspal HRS-WC Menggunakan Abu Sekam Padi et al., 2018a)

Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) adalah salah satu jenis perkerasan jalan yang populer pada pembangunan infrastruktur jalan. *Asphalt Concrete-Wearing Course* AC-WC adalah campuran dari beberapa material yaitu agregat halus, agregat kasar, aspal dan *filler* yang akan dicampur serta dipadatkan untuk membentuk lapis atas pada perkerasan jalan.(Direktur Politeknik Negeri Lhokseumawe Penanggung Jawab Kepala Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Politeknik Negeri Lhokseumawe Ketua Redaksi Muhammad Reza et al.)



Asphalt concrete -wearing
Asphalt concrete -binder course
Asphalt concrete -base

Gambar 2. 2 Perkerasan Aspal Beton

(Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 1983, Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton, Direktorat Jenderal Bina Marga)

2.2. Klasifikasi Kelas Jalan

Berdasarkan UU No.38 Tahun 2004 Pasal 7 dan 8, Sistem jaringan jalan secara umum berperan sebagai penyedia fasilitas distribusi barang dan jasa untuk perkembangan suatu daerah. Jalan umum dikelompokkan menjadi 4 (empat) yaitu jalan arteri, jalan kolektor, jalan lokal, dan jalan lingkungan.

1. Jalan Arteri

Adalah jalan umum yang berfungsi sebagai pelayanan angkutan utama untuk perjalanan jauh dengan rata-rata kecepatan tinggi. Jalan ini menghubungkan antar pusat nasional. (Teknik & Lateral, 2024)

2. Jalan Kolektor

Adalah jalan umum yang memiliki fungsi untuk pelayanan angkutan pengumpul/pembagi dengan perjalanan jarak sedang serta memiliki kecepatan dengan rata-rata sedang. Jalan kolektor ini berfungsi untuk menghubungkan

pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan lokal atau pusat kegiatan regional. (Jm_jss, +JSS+040706+Risky+Hamzah+110211076_3, n.d.)

3. Jalan Lokal

Adalah jalan umum sebagai pelayanan angkutan lokal dengan perjalanan jarak dekat dan kecepatan rata-rata rendah. Jalan ini menghubungkan antara pusat kegiatan nasional dengan pusat lingkungan, pusat kegiatan regional dengan pusat lingkungan dan pusat kegiatan lokal dengan pusat lingkungan. (Bestari et al., 2021)

4. Jalan Lingkungan

Adalah jalan umum dengan fungsi sebagai penyediaan layanan angkutan lokal dengan jarak tempuh dekat serta memiliki kecepatan yang rata-rata rendah. Jalan ini merupakan jalan yang menghubungkan pusat kegiatan pedesaan dengan jalan pedesaan lain.

Berdasarkan UU No.22 Tahun 2009 Pasal 19, Kelas jalan dikelompokkan berdasarkan pada fungsi, intensitas serta daya dukung jalan menerima beban pada kendaraan. (UU Nomor 22 Tahun 2009.)

Tabel 2. 1 Klasifikasi kelas Jalan

Kelas Jalan	Fungsi jalan	Dimensi Kendaraan Maksimum			Muatan sumbu terberat (Ton)
		Lebar (m)	Panjang(m)	Tinggi(m)	
I	Arteri ,kolektor	2,5	18	4,2	10
II	Arteri,kolektor,Local, Lingkungan	2,5	12	4,2	8
III	Arteri,kolektor,Local, Lingkungan	2,1	9	3,5	8
Khusus	Arteri	>2,5	>18	4,2	>10

(Sumber : UU No.22 Tahun 2009 Pasal)

2.3. Penyusunan Perkerasan Jalan

2.3.1 Pengertian Agregat

Bahan dasar utama dalam penyusunan perkerasan jalan adalah agregat Pada umumnya agregat merupakan hasil dari campuran batu pecah, krikil, pasir ataupun mineral lain. Agregat mempengaruhi daya dukung perkerasan jalan karena

memiliki volume sebesar 90-95% dari berat total atau 75-85% dari volume. Suatu perkerasan jalan kualitasnya dapat dipengaruhi sifat dari agregat dan pencampuran material lainnya. Kualitas agregat dipengaruhi beberapa faktor yaitu kebersihan, gradasi, kekerasan, ketahanan agregat, berat jenis, serap air, bentuk butiran, kekasaran permukaan, daya lekat aspal dan porositas. Untuk konsentrasi pori pada material agregat, ditentukan dari jumlah air yang diserap pada material.(Devi, Umma Chintya 2024.) .

Nilai serapan didapatkan dari agregat yang mengalami perubahan berat karena penyerapan air pada pori-pori dalam kondisi kering, dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

Penyerapan Agregat Kasar

$$= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 10\% \dots \dots \dots (2.1)$$

Penyerapan Agregat Halus

$$= \frac{B_s}{B + B_s - B_t} \times 10\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

B : Berat piknometer + air, (gr)

Bt : Berat piknometer + benda uji + air, (gr)

Bs : Berat benda uji, (gr)

Bj : Berat benda uji kering permukaan jenuh (gr)

Bk: Berat benda uji kering oven (gr)

2.3.2 Persyaratan Agregat

Menurut Bina Marga (2018), Agregat dibedakan dari sifat dan ukuran butirannya yang dibagi menjadi 3 (tiga) yaitu agregat halus, agregat kasar dan semen (*filler*). Penyerapan air pada material maksimal 3% dan pada berat jenis material halus dan kasar tidak boleh berbeda lebih dari 0,2. (Heldita et al., 2018) Berikut ini adalah macam-macam material yang digunakan pada perkerasan jalan.

1. Agregat Halus

Fraksi material yang butirannya lebih kecil dan lolos dari saringan No. 8 (2,36 mm). Material halus berfungsi menambah stabilitas dengan mengisi ruang antar butir dan menempel diantara butiran yang terdiri dari kerikil atau pasir alam atau

kombinasi kedua zat tersebut. Pasir alam yang digunakan tidak lebih dari 15% dari berat total campuran.(Putra & Fidausi, 2019)

Tabel 2. 2 Persyaratan Agregat Halus

Pengajuan	Metode pengajuan	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min,50%
Uji kadar Rongga Tanpa Pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min,45%
Gumpalan Lempung dan Butir-butir mudah pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks,15
Agregat Lolos Ayakan No .200	SNI ASTM C117:2012	Maks,10%

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Tabel 6.3.2.2.)

2. Agregat Kasar

Fraksi material yang tertahan pada saringan No.4 (4,75 mm). Material ini harus memiliki sifat yang kuat, bersih, awet, bebas dari tanah dan tidak mengandung komponen lain yang tidak diinginkan. Fraksi material kasar harus dari agregat mesin dan memiliki spesifikasi ukuran yang sesuai dari jenis rencana pada campuran. Material kasar harus memiliki angularitas sebagai persen terhadap berat material yang lebih besar dari 4,75 mm menurut SNI 7619:2012. Material kasar harus memiliki ketahanan terhadap abrasi.

Tabel 2. 3 Persyaratan Agregat Kasar

Pengujian			Metode Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan		Natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks ,12%
		Magnesium		Maks ,18%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran, AC Modifikasi dan SMA	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%
Butir pecah pada agregat kasar		SMA	SNI 7619:2012	100/90
		Lainya		95/90
Partikel pipih dan lonjong		SMA	SNI 8287 :2016	Maks 5%
		Lainya	Perbandingan 1:5	Maks 10%
Material Lolos Ayakan No.200			SNI, ASTM C117:2012	Maks,1%

(Sumber; spesifikasi umum Bina Marga 2018 Divisi 6 perkerasan Aspal Tabel 6.3..)

3. Bahan Pengisi/Filler

Filler merupakan bahan yang melewati saringan No. 200 (0,075 mm) dan beratnya tidak kurang dari 75%. Fungsi filler sebagai pengisi rongga udara pada campuran, sehingga mampu mengeraskan lapis perkerasan aspal. Bahan pengisi yang sering digunakan pada campuran aspal yaitu abu batu dan semen Portland. Bahan pengisi semen harus dari 1% sampai 2% dari berat total agregat dan bahan pengisi lainnya harus dari 1% sampai 3% dari berat total agregat. (Putra & Fidausi, 2019)

2.3.3 Gradasi Agregat

Gradasi salah satu faktor penting dalam stabilitas perkerasan jalan melalui gradasi ukuran material. Pada umumnya ukuran agregat mempengaruhi besarnya volume rongga (Void) dan stabilitas dalam campuran. (Rizqurrach-2725-1-13-Rizqu-8, n.d.) Gradasi agregat dibedakan menjadi 3 (tiga) yaitu:

1. Gradasi Senjang (*Gap Gaded*)

Gradasi senjang merupakan jenis gradasi yang memiliki fraksi agregat yang sangat sedikit atau tidak lengkap. Agregat gradasi senjang umumnya digunakan untuk perkerasan lentur. Lapisan perkerasan dari agregat sedang akan memiliki kualitas perkerasan yang berada diantara hasil gradasi seragam dan gradasi rapat.

2. Gradasi Menerus/Rapat (*Dense Graded*)

$$p = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^{0,45} \dots \dots \dots (2.3)$$

Campuran skala agregat yang ukuran butirannya terdistribusi merata antara agregat halus dan agregat kasar disebut sebagai gradasi rapat atau gradasi menerus (*Continuous Gradinig*). Agregat gradasi dianggap baik jika memenuhi persyaratan tiap lapis saringan dan presentase stabilitas tinggi. (Putri & Putra, 2018)

Keterangan :

P : Presentase lolos saringan dengan bukaan d mm (%)

d : ukuran agregat yang sedang di perhitungkan (%)

D : Ukuran maksimum partikel dalam gradasi terbuka (%)

3. Gradasi Seragam (*Uniform Graded*)

Gradasi seragam atau gradasi terbuka (*Open graded*) merupakan susunan agregat dengan ukuran yang berskala hampir sama. Komposisi agregat halus dalam gradasi seragam terbilan sedikit sehingga terdapat banyak rongga. Campuran agregat bergradasi seragam cenderung mempunyai nilai permeabilitas tinggi dan stabilitas rendah.(Perencanaan et al., n.d.)

Tabel 2. 4 Amplop Gradasi Gabungan untuk Campuran Beraspal

Ukuran Ayakan		% Berat yang lolos terhadap Total agregat		
ASTM	(mm)	AC-WC	AC-BC	Base
1 ½"	37,5			100
1"	25		100	90-100
¾"	19	100	90-100	76-90
½"	12,5	90-100	75-90	60-78
3/8"	9,5	77-90	66-82	52-71
No.4	4,75	53-69	46-64	35-54
No.8	2,36	33-53	30-49	23-41
No.16	1,18	21-40	18-38	13-30
No.30	0,600	14-30	12-28	10-22
No.50	0,300	9-22	7-20	6-15
No.100	0,150	6-15	5-13	4-10
No.200	0,075	4-9	4-8	3-7

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal Tabel 6..3.2.3.)

2.4. Sifat dan Karakteristik Campuran Aspal Beton

Bitumen yaitu bahan yang berwarna hitam dan memiliki sifat viskoelastis yang membuatnya lebih mencair. Aspal berfungsi sebagai bahan pelekak pada perkerasan lentur. Aspal juga memiliki dari senyawa hidrokarbon yang mengandung sulfur, chlor, dan oksigen.(Ariyanto & Setiawan M, 2022)

Tabel 2. 5 Ketentuan untuk Aspal Keras Pen 60/70

1	Jenis pengujian	Metode Pengujian	Persyaratan
2	Penetrasi pada 25°C (0,1mm)	SNI 2456:2011	60-70
3	Viskositas kinematis 135°C(eSt)	ASTM d2170-10	≥ 300
4	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥48
5	Daktilitas pada 25 °C	SNI 2433:2011	≥100
6	Titik Nyala(°C)	SNI 2441:2011	≥232
7	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-24411991	≤1,0
8	Indeks Penetrasi pada 25°C(%)	SNI 2456: 2011	≥54

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal Tabel 6..3.2.5.)

Tabel 2. 6 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC)

Sifat -sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		122
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6		
	Maks	1,6		
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga Dalam Agregat (VMA)	Min	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min	65	65	65
Stabilitas <i>marshall</i> (kg)	Min	800		1800
Pelelehan (mm)	Min	2		6
	Maks	4		3
Stabilitas <i>Marshall</i> Sisa (%) Setelah perendaman selama 24 jam 60°C	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (Refusal)	Min	2		

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal Tabel 6.3.3)

2.5. Abu Sekam padi

Abu hasil pembakaran sekam padi yang pada hakikatnya hanyalah limbah ternyata merupakan sumber silika /karbon yang cukup tinggi. Pirolisis lebih lanjut dari hasil pembakaran sekam padi menunjukkan bahwa kandungan SiO₂ mencapai 80-90% yang juga menarik, 15% -20% berat abu akan di peroleh dari total berat sekam padi yang di bakar, pemanfaatan abu sekam padi dengan demikian layak untuk di pikirkan.(campuran aspal beton Bulgis & Bastari Alkam, n.d.)

Salah satu pemanfaatan abu sekam padi yang telah banyak di coba adalah mereaksikanya dengan larutan NaOH untuk menghasilkan natrium silikat yang luas penggunaanya dalam indrustri, seperti sebagai bahan *filler* dalam pembuatan sabun dan deterjen, bahan perekat (*adresive*), dan jeli silika (*silica gel*). (Purwanto & Firdaus, 2024)

2.6. Abu Arang Kayu

Abu Arang Kayu merupakan campuran material perkerasan jalan yang memanfaatkan abu arang kayu (hasil pembakaran arang kayu yang telah menjadi abu) sebagai bahan tambah (*Additive*) atau bahan pengganti sebagai agregat halus (seperti pasir) dalam campuran aspal. Campuran aspal dengan abu arang kayu adalah kombinasi antara aspal sebagai pengikat dan agregat (kasar dan halus) dimana abu arang kayu di gunakan untuk meningkatkan atau memodifikasi sifat

campuran.(Porus Terhadap Perkerasan Jalan & Sebagai Salah Satu Syarat Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada, n.d.)

2.7. Marshall Test

Metode laboratorium dilakukan untuk memeriksa campuran panas agar mendapatkan nilai stabilitas dan kelelahan dari campuran aspal. Metode ini dikembangkan oleh Bruce Marshall pada tahun 1939. Aspal dan agregat dicampur lalu dipanaskan dengan suhu yang memiliki nilai kekentalan aspal 170 ± 20 centistokes (cst) lalu dipadatkan dengan suhu yang memiliki nilai kekentalan aspal 280 ± 30 centistokes (cst). Hasil sampel uji dari pemadatan dengan alat pemadatan aspal (*Marshall Compaction Hammer*) yaitu berbentuk silinder dengan tinggi 60 mm, diameter 100 mm dan pengujian dilakukan pada saat suhu $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ dengan pembebanan konstan 51 mm/menit. Stabilitas *Marshall* adalah beban maksimum pada sampel uji sebelum dihancurkan. Arus *Marshall* adalah volume regangan pada benda uji saat belum pecah. Koefisien *Marshall* menentukan nilai ketahanan material terhadap deformasi.(Marshall pada Campuran Aspal HRS-WC Menggunakan Abu Sekam Padi et al., 2018b)



Gambar 2. 3 *Marshall Compaction Hammer & Alat Marshall Test*

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Hasil dari *Marshall* test meliputi stabilitas, kelelahan (*flow*), VMA, VIM, VFA, hasil bagi *Marshall* (*Marshall Quantient*).

1. Stabilitas

Adalah kemampuan campuran aspal padat terhadap beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk seperti gelombang, alur (*rutting*) ataupun *bleeding*. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai dari stabilitas yaitu kohesi/penetrasi, kerapatan, kontak antar agregat, kadar aspal, bentuk dan tekstur permukaan gradasi agregat. Stabilitas dengan nilai yang terlalu tinggi akan menyebabkan hasil dari campuran aspal menjadi terlalu kaku sehingga menyebabkan keretakan pada perkerasan jalan. Untuk stabilitas dengan nilai yang terlalu rendah akan menyebabkan hasil dari campuran aspal mengalami alur (*rutting*) karena adanya tekanan yang disebabkan oleh beban lalu lintas. (Agustian et al.,)

2. Kelelahan (*Flow*)

Adalah nilai deformasi/penurunan vertikal yang terjadi pada saat pembebanan yang diberikan terhadap campuran aspal padat. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai dari kelelahan (*flow*) yaitu kadar aspal, gradasi agregat, dan suhu aspal saat pemadatan. (Ariyanto & Setiawan M, 2022)

3. Kepadatan (*Density*)

Adalah kerapatan pada campuran aspal padat. Berikut adalah rumusnya :

$$\frac{\text{Berat Uji Kering (gram)}}{\text{Volume Berat Uji (cm}^3\text{)}} \dots\dots\dots (2.4)$$

4. Berat Jenis *Bulk*

Yang bisa diukur dengan menggunakan hukum Archimedes :

$$\frac{\text{Berat Uji Kering}}{\text{Berat Uji Kering Permukaan - Berat Uji Dalam Air}} \dots\dots\dots (2.5)$$

5. Berat Jenis Maksimum Sebelum Dipadatkan

Adalah berat jenis dari campuran aspal beton tanpa udara yang didapatkan dari uji laboratorium. Berikut adalah rumusnya :

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

Gmm: Berat jenis maksimum (gr/cc)

Pb : jumlah aspal terhadap total berat campuran (%)

Ps : Jumlah agregat terhadap total berat campuran (%)

Gse : Berat jenis efektif agregat

Gb : Berat jenis aspal (gr/cc)

6. Jumlah Aspal yang Terserap

$$Pba = 100 \times \frac{Gse - Gsb}{Gse \times Gse} \times Gb \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

Pba : Jumlah aspal yang terserap terhadap agregat (%)

Gb : Berat jenis aspal (gr/cc)

Gsb : Berat jenis *bulk* agregat

Gse : Berat jenis spesifik agregat

7. Jumlah Aspal Efektif dalam Campuran

$$Pbe = Pb \frac{Pba}{100} Ps \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan :

Pbe : Jumlah aspal efektif terhadap total berat campuran (%)

Pb : Jmlah aspal terhadap total berat campuran (%)

Ps : Jumlah agregat terhadap total berat campuran (%)

Pba : Jumlah aspal yang terserap terhadap berat agregat (%)

8. Berat Jenis *Bulk* Agregat Campuran

Adalah berat jenis agregat campuran dari aspal beton padat adalah

$$Gse = \frac{100}{\left(\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_n}{G_n}\right)} \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan :

G1, G2, Gn : Spesifikasi berat setiap jenis agregat

P1, P2, Pn : Persentase berat setiap jenis agregat

9. Berat Jenis Efektif Agregat Campuran

$$Gse = \frac{100}{\left(\frac{P_1}{G_e} + \frac{P_2}{G_e} + \frac{P_n}{G_{en}}\right)} \dots \dots \dots (2.10)$$

Adalah berat jenis maksimum dari campuran aspal beton yang belum di padatkan dari uji laboratorium. Berikut adalah rumusnya:

Keterangan :

Ge1, Ge 2,Gen : Spesifikasi berat setiap jenis agregat

P1, P2,Pn : Persentase berat setiap jenis agregat

10. Rongga di antara Mineral Agregat (*Void In Mineral Agregate / VMA*)

$$VMA = 100 -$$

$$\frac{Gmb \times Ps}{Gsb} \dots \dots \dots (2.11)$$

Adalah jumlah pori- pori yang terdapat di antara butiran agregat pada campuran aspal beton yang sudah di padatkan. (Jurnalmanajer, +8+ Said+Jalalu+Akbar+dan+Wesli+-+Stabilitas+Lapis+Aspal+Beton+AC-WC+Menggunakan+Abu+Sekam+Padi, n.d.)

Keterangan :

Gmb : Berat jenis *Bulk* campuran (gr /cc)

Gsb : Berat jenis efektif agregat (gr /cc)

Ps : Jumlah agregat dengan total berat campuran (%)

11. Rongga Udara (*Void In The Mix /VIM*)

$$VIM = 100 \times$$

$$\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \dots \dots \dots (2.12)$$

Adalah volume rongga udara yang terdapat di antara butiran agregat yang di lapisi campuran aspal beton yang sudah di padatkan.

Keterangan :

VIM : Rongga udara dalam campuran terhadap volume campuran (%)

Gmm : Berat jenis maksimum campuran (gr/cc)

Gmb : Berat jenis *bulk* campuran (gr/cc)

12. Rongga Terisi Aspal (*Void Filled With Asphalt/VFA*)

$$VFA =$$

$$\frac{100 \times (VMA - VIM)}{VMA} \dots \dots \dots (2.13)$$

Adalah volume rongga yang terdapat di antara butiran agregat yang terisi aspal, tidak termasuk aspal yang di serap oleh agregat. (Ibrian Tika et al., n.d.)

Keterangan :

VFA : Pori antar butir agregat yang terisi aspal dari VMA (%)

VMA : Pori butir agregat di dalam beton aspal (%)

VIM : Rongga udara dalam campuran (%)

13. Hasil bagi (*Marshall Quantient*)

$$MQ =$$

$$\frac{S}{F} \dots \dots \dots (2.14)$$

Adalah perbandingan dari nilai stabilitas dan modulus daya tekan dari campuran aspal. Semakin tinggi nilai MQ maka nilai kekakuan juga tinggi pada campuran aspal yang mengakibatkan aspal rentan terhadap keretakan. Di rumuskan sebagai berikut :

Keterangan :

MQ : *Marshall Quantient* (kg/mm)

F : Nilai kelelehan / *flow* (mm)

S : Stabilitas (kg)

2.7.1 Penentuan Kadar Aspal Optimum

$$B = \frac{(W1-W2)-(W3+W4)}{VMAW1-W2} \times 100\% \dots \dots \dots (2.15)$$

Menurut SNI-06-2480-1991 penentuan kadar optimum dapat di rumuskan sebagai berikut :

Keterangan :

B : Kadar aspal (%)

W1 : Berat benda uji (%)

W2 : Berat air dalam benda uji (gr)

W3 : Berat mineral hasil ekstraksi (gr)

W4 : Berat mineral harus yang tertinggi dalam filtrat (gr)

(ANALISIS PEMANFAATAN LIMBAH ARANG KAYU, n.d.)

2.8. Penelitian Terdahulu Yang Sejenis

No	Nama, tahun	Judul	Variabel & Metode	Hasil
1.	Ridwan Hadi Rianto, (2007) Universitas Diponegoro Semarang.	Pengaruh abu sekam padi sebagai bahan filler Terhadap karakteristik Campuran Aspal Emulsi Bergradasi Rapat (Cebr)	Abu Sekam Padi & Menggunakan pengujian <i>Modified marshall test</i> , Variasi kadar aspal yang di gunakan adalah 8,9,10 dan 11% sementara variasi kadar filler yang di gunakan adalah 4,5% dan 5,5%	Nilai destinasi kering maksimum sebesar 2,07 gr/cc dan nilai kerapatan basah mencapai 2,13 gr/cc Nilai VMA minimum sebesar 2,12% Tingkat kelelahan plastis minimum mencapai 3,92 mm , Nilai stabilitas kering maksimum sebesar 814,4 kg dan stabilitas sisa minimumnya sebesar 91,06 % Nilai nilai parameter kerjanya memenuhi persyaratan Bina Marga (VMA 5).
2.	Pohan, Siti Aminah (2019) Universitas Islam Riau.	Pengaruh Penambahan Abu Arang kayu Pada Aspal Porus Terhadap pekerjaan Jalan.	Abu Arang Kayu & Menggunakan metode <i>Marshall Test</i>	Berdasarkan hasil penelitian diperoleh presentase penggunaan agregat kasar sebesar 13,47% agregat sedang sebesar 82,20% agregat halus sebesar 2,19% pasir sebesar 2,14 % dan variasi kadar aspal sebesar 4,0%-4,5%- 5,0%- 5,5% dan 6,0%.
3.	Hermansyah Bambang Wansa putra, Opan wawan Widiansyah (2022)	Meningkatkan nilai rongga Stabilitas Dan <i>Flow</i> Campuran Aspal	Nilai rongga Stabilitas <i>Flow</i> Campuran aspal HRS-WC Abu sekam padi &	Variasi kadar Abu sekam padi sangat mempengaruhi nilai dari karakteristik <i>Marshall</i> . Pada penambahan dari setiap kadar aspal semua nilai dari pengujian <i>Marshall</i> mengalami perubahan drastic. Pada nilai VIM-VMA-

	Universitas Teknologi Sumbawa	HRS-WC Dengan pemanfaatan sekam padi.	Metode kuantitatif dengan menggunakan alat <i>Marshall</i> dengan variasi penambahan Abu sekam padi adalah 0,2%- 0,4%- 0,6%- 0,8%- 1.0%- 1.2%- 1.4%.	VFA, Stabilita <i>Marshall quotient</i> dan <i>Marshall</i> sisa untuk nilai dari variasi kadar abu sekam padi 1.4% masuk sesuai spesifikasi umum 2018 revisi 2 dibandingkan dengan variasi abu sekam padi lainnya.
4.	Beny Setiawan, M.T (2022) Jurusan Teknik Sipil Universitas Pahlawan Tuanku Tambusai.	Pengaruh Penambahan Abu Arang kayu Pada Aspal Porus Terhadap pekerjaan Jalan Analisis Perbandingan Karakteristik Perkerasan Jalan Raya AC-BC Menggunakan Abu Sekam Padi Sebagai <i>Filler</i> Alternatif.	Abu Sekam Padi. Menggunakan Pengujian Marshall Dengan variasi Penambahan ASP.	Hasil Karakteristik perkerasan AC-BC menggunakan ASP tiap variasi tidak lolos pada poin VIM dan VMA yang sudah ditetapkan oleh pedoman bina marga, sedangkan untuk karakteristik lain benda uji tiap variasi sudah lolos spesifikasi.

5.	Setiono, Eko (2023) Universitas Bina Darma.	Analisis Abu sekam Padi Sebagai Filler Tambahan Terhadap Stabilitas Dan Kepadatan Campuran Lapisan Aspal AC-BC	Abu Sekam Padi & Menggunakan metode <i>Marshall Test</i> Dengan penelitian yang di lakukan menggunakan metode eksperimen yang bertujuan untuk mengetahui kadar aspal optimum serta pengaruh terhadap Stabilitas dan variasi 0%-0,5%-1%- 1,5%-dan 2%.	Kadar <i>filler</i> abu sekam padi ,hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu kadar Aspal Optimum sebesar 5,65% dan untuk filler efektif adalah filler dengan variasi kadar 1% yang menunjukkan peningkatan nilai pada Stabilitas sebesar 1.315,28 kg kepadatan sebesar 2,276 dari campuran normalnya.
6.	Maulana, Diky (2023) Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.	Analisis Pemanfaatan Limbah Arang Kaayu Sebagai Bahan Tambahan Filler Pada Perkerasan Aspal (AC- WC)	Abu Arang Kayu & Menggunakan metode <i>Marshall Test</i>	Variasi kadar Abu Arang Kayu sangat mempengaruhi nilai dari karakteristik <i>Marshall</i> . Untuk mengetahui karakteristik pengaruh filler arang kayu terhadap kinerja campuran dengan presentase 0%-1,5%-2%-dan 2,5% terhadap karakteristik <i>Marshall</i> .

7.	Mafiroh,AR, Muthawaliatutdin, I (2023) Universitas Islam Sultan Agung Semarang	Analisis <i>Asphalt Concrete Wearing course</i> (AC-WC) Dengan Substitusi Abu Sekam Padi (<i>rice husk ash</i>) Dan Abu Terbang Batu Bara	Abu Sekam Padi & Menggunakan metode <i>Marshall Test</i>	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa campuran AC-WC dengan menggunakan bahan substitusi Fly ash dan abu sekam padi mempunyai kestabilan yang lebih baik .Job Mix Design terbaik terdapat pada campuran dengan komposisi Fly ash 30% + abu sekam padi 0,5% .
8.	Zuhad A, Setiawan Y, (2025)	Analisis <i>Asphalt Concrete Wearing Course</i> (AC-WC) dengan penambahan abu sekam padi (<i>rice husk ash</i>) dan abu arang kayu untuk perkerasan jalan	<i>Asphalt concrete-wearing course</i> (AC-WC), abu sekam padi dan arang kayu	Hasil penelitian yang telah dilakukan maka <i>Job Mix Design</i> karakteristik terbaik dari <i>Asphalt Concrete Wearing Course</i> (AC-WC) dengan bahan tambah Abu sekam padi (<i>rice husk ash</i>) 0% dan Abu arang kayu 1% dimana hasil dari pengujian tersebut memenuhi sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018 yang dapat dilihat pada halaman 100 Tabel 4.22. Hasil <i>Marshall</i> Benda Uji dengan nilai (VMA 20.46), (VIM 4.75), (VFB 76.82), (Stabilitas 1292,57), (<i>Flow</i> 3,46), (<i>Marshall Quotient</i> 373.58) dan disimpulkan bahwa dapat digunakan sebagai perkerasan jalan

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode penelitian ialah proses pengambilan, analisis, dan identifikasi variabel penelitian untuk mendapatkan pemecahan terhadap segala permasalahan dan pada tugas akhir ini menggunakan metode penelitian eksperimen. Metode penelitian eksperimen adalah pendekatan sistematis yang dilakukan untuk memahami pengaruh perlakuan terhadap suatu subjek penelitian yang dilaksanakan dengan cara percobaan di laboratorium untuk mengumpulkan data yang selanjutnya, data itu diproses dengan mempertimbangkan standar spesifikasi untuk menghasilkan hasil perbandingan yang diinginkan. Pada penelitian ini menggunakan *American Society for Testing Material* (ASTM) dan Standar Nasional Indonesia (SNI) sebagai pedoman dalam prosesnya. (Yunus, 2024)

Pengujian yang dilakukan pada saat penelitian antara lain yaitu uji agregat (agregat halus, agregat kasar, dan *filler*), aspal, dan campuran (*Marshall Test*). Pengujian agregat yaitu berupa pengujian berat jenis serta porositas. Lalu metode yang dipakai sebagai pengujian pada campuran ialah *Marshall Test*, di mana dari pengujian tersebut akan memperoleh hasil yang berbentuk komponen-komponen *Marshall*, yaitu seperti berat volume benda uji, nilai stabilitas, *flow*, *Void In Mineral Aggregate* (VMA), *Void In The Mix* (VIM), *Void Filled With Asphalt* (VFB), nilai tebal selimut atau film aspal yang berdasar hasil tersebut yang dapat ditentukan *Marshall Quotient* (MQ). (Muthawaliattuddin 2024)

3.2. Kebutuhan Material dan Bahan Penelitian

Pada penelitian ini, diperlukan material dan bahan yang mendukung penelitian dan mencapai tujuan penelitian secara efektif dan efisien sebagai berikut:

3.2.1. Kebutuhan Material

Kebutuhan material yang digunakan pada saat penelitian ialah sebagai berikut :

1. Penggunaan material agregat kasar dan agregat halus yang digunakan berasal dari PT. Semarang Multi Cons Kaliwungu Kendal.
2. Dalam penelitian ini menggunakan material aspal penetrasi 60/70 yang diambil dari *Asphalt Mixing Plant* (AMP) PT. Semarang Multi Cons Kaliwungu Kendal.
3. Abu sekam padi (*rice husk ash*) yang digunakan sebagai bahan tambah pada campuran didapatkan dari hasil pembakaran padi atau gandum.
4. Arang kayu yang didapatkan hasil dari pembakaran kayu.

3.2.2. Kebutuhan Alat

Kebutuhan alat yang digunakan dalam penelitian yaitu alat-alat yang berasal dari Laboratorium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Berikut ini merupakan peralatan yang akan dibutuhkan:

1. Peralatan Pengujian Analisa Saringan

Peralatan yang dibutuhkan untuk pengujian analisa saringan diantaranya yaitu:

- a. Satu set saringan 1½", 1", ¾", ½", ⅜", no.4, 8, 16, 30, 50, 100, dan 200.
- b. Pan dan penutup.
- c. Timbangan yang nilai ketelitiannya 0,1 gram dari berat benda uji.
- d. Kuas, wadah plastic, dan sikat.
- e. Oven yang telah dilengkapi pengatur suhu.

2. Peralatan Pengujian Berat Jenis

Untuk mendapatkan berat jenis efektif pada suatu campuran aspal perlu dilakukan pengujian berat jenis. Alat-alat yang perlu digunakan dalam pengujian berat jenis agregat kasar dan agregat halus yaitu berupa:

- a. Oven yang telah dilengkapi dengan pengatur suhu.
- b. Saringan nomor 4 (4,75 mm) serta saringan nomor 8 (2,36 mm).
- c. Timbangan yang nilai ketelitiannya 0,1 gram dari berat benda uji.

3. Peralatan Pengujian Aspal

Peralatan pengujian aspal yaitu terdiri dari:

- a. Peralatan uji titik lembek.
- b. Peralatan uji penetrasi.
- c. Peralatan uji berat jenis.
- d. Timbangan yang nilai ketelitiannya 0,1 gram dari berat benda uji.
- e. Piknometer.

4. Peralatan Pengujian Campuran Agregat Aspal

Peralatan pengujian campuran agregat aspal pada metode pengujian *Marshall Test*.

Berikut ini merupakan peralatan yang dipergunakan pada pengujian *Marshall Test*:

a. Alat tekan *Marshall Test*

Peralatan untuk menguji stabilitas yang beratnya mencapai 3000 kg (6000 lbs), dan sudah dilengkapi dengan arloji untuk mengukur kelelahan (*flow*).

b. Alat cetak benda uji

Alat cetak benda uji yang dipakai memiliki bentuk silinder, dengan diameter 10,2 cm (4 inci) dan tinggi 7,5 cm (3 inci) untuk pengujian *Marshall* standar. Sedangkan untuk pengujian *Marshall* modifikasi, digunakan silinder berdiameter 15,24 cm (6 inci) dan tinggi 9,52 cm, yang dilengkapi dengan plat serta leher sambung.

c. Alat Penumbuk

Alat penumbuk yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 9,8 cm (3,86 inci), berat 4,5 kg (10 lbs), dan tinggi jatuh bebas 45,7 cm (18 inci).

d. Ejektor

Ejektor ialah alat yang digunakan untuk melepaskan benda uji setelah dipadatkan.

e. Bak perendaman

Water bath digunakan untuk tempat perendaman benda uji.

f. Alat-alat yang digunakan lainnya yaitu; kompor pemanas, spatula, panci, termometer, kipas angin, kanebo, kaliper, sarung tangan, timbangan dan spidol putih.

3.3. Keperluan dan Analisis Data

Setelah proses penelitian ini selesai, yang mencakup seluruh pengujian sifat bahan dan sifat *marshall* campuran, kemudian dilakukan penyajian analisis data.

3.3.1. Kebutuhan Data

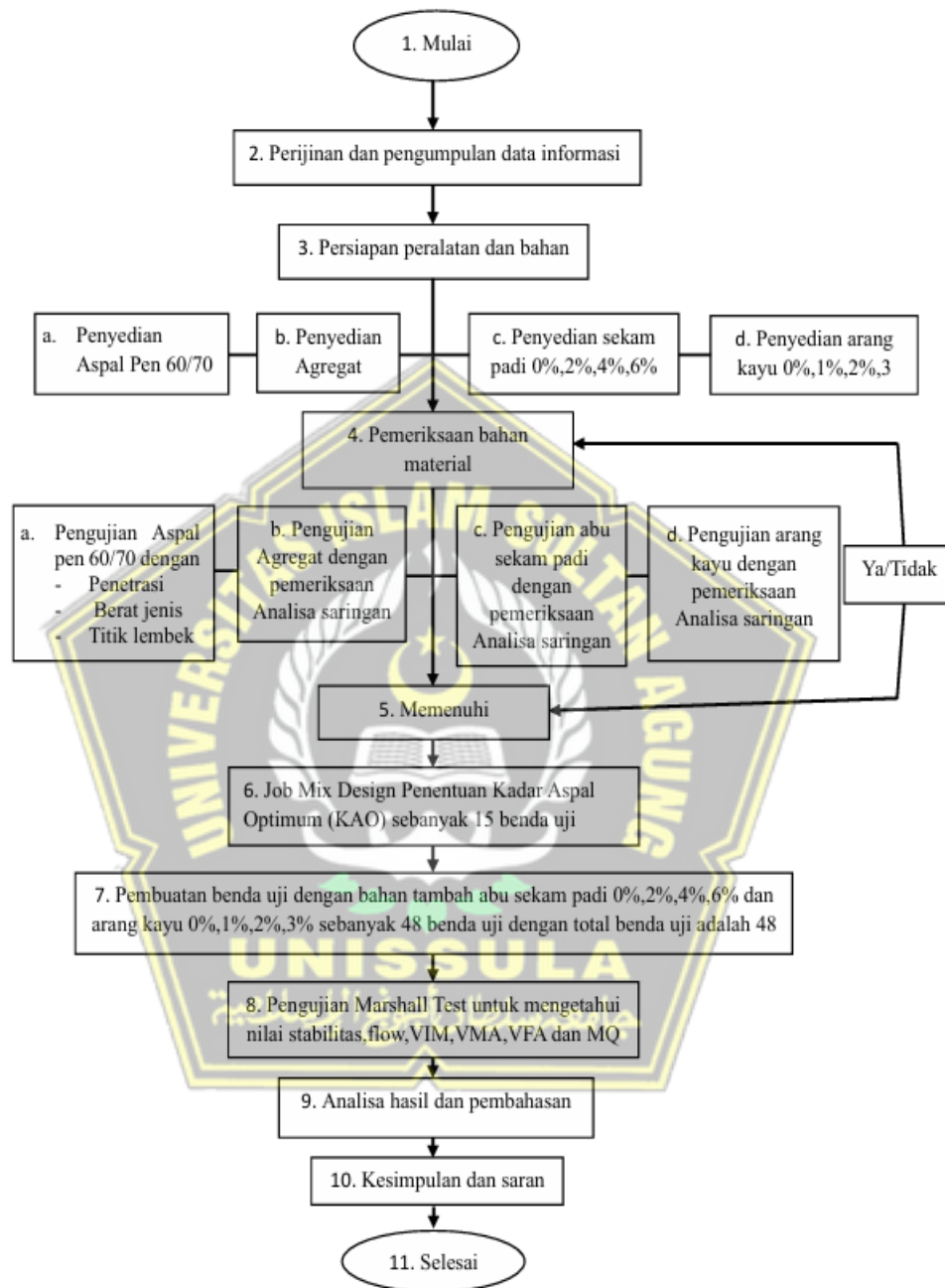
Kebutuhan data diperlukan untuk menentukan hasil pengujian ini berkaitan dengan sifat material dan sifat campuran *Marshall*. Tujuan dari pengujian ini ialah agar mendapatkan informasi untuk menganalisis data pengujian, terutama karakteristik-karakteristik *Marshall Test* pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC).

3.3.2. Analisis Data

Pada analisis data, semua data yang diperoleh dari hasil penelitian dianalisa guna mengevaluasi pengaruh pada eksperimen yang telah dilaksanakan, yang termasuk karakteristik-karakteristik *Marshall Test* pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) yang digunakan.



3.4. Bagan Alir



Gambar 3. 1 Bagan Alir Penelitian

3.5. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan dua metode, yaitu:

1. Pengumpulan data sekunder, yaitu data yang sudah pengujiannya dilakukan oleh perusahaan dan diuji di laboratorium pengujian material. Data sekunder yang digunakan merupakan aspal pertamina dengan nilai penetrasi 60/70.
2. Pengumpulan data primer merupakan data yang dilaksanakan terlebih dahulu pada sebuah penelitian di yang mana data primer tersebut adalah :
 - a. Analisa saringan
 - b. Berat jenis agregat
 - c. Karakteristik-karakteristik pada *Marshall Test*

3.6. Prosedur Perencanaan Penelitian

Prosedur Perencanaan Penelitian yang akan dilaksanakan berikut ini:

1. Persiapan material dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian.
2. Pengujian agregat dari sifat fisik dan mekanis.
3. Menentukan campuran (*job mix*) pada *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC WC) sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2010.
4. Mencari kadar aspal optimum, dengan variasi komposisi Abu Sekam Padi (*rice husk ash*) digunakan 0%, 2%, 4%, 6% dan Arang Kayu 0%,1%,2%, 3%.
5. Pembuatan benda uji.
Pengujian benda uji dengan metode *Marshall Test* untuk mendapatkan nilai *Stability*, *Flow*, VIM, VMA, VFB, MQ.

6. Analisa dan Pembahasan

Menganalisa benda uji dari campuran abu sekam padi (*rice husk ash*) dan arang kayu melalui pengujian *Marshall Test*.

7. Kesimpulan dan Saran

Setelah pengujian dilaksanakan dan diperoleh hasil analisis serta pembahasan yang dijelaskan oleh peneliti dapat ditarik kesimpulan dan saran. Hasil dari percobaan di laboratorium baik dari uji material hingga dengan pengujian sampel, dan nilai yang

didapat tersebut dianalisa lalu ditunjukkan dalam bentuk tabel dan grafik terhadap tiap parameter nilai karakteristik *Marshall* (VIM, VMA, VFB, *Stability*, *flow* MQ).

3.7. Pemeriksaan Karakteristik Material

Dalam penelitian ini ada beberapa pemeriksaan karakteristik pada material, yaitu sebagai berikut:

3.7.1. Pemeriksaan Agregat Kasar dan Halus

Pemeriksaan pada agregat kasar dan agregat halus mempunyai langkah-langkah penting yang harus dilaksanakan, yaitu sebagai berikut :

1. Penyaringan agregat kasar dan halus, yang dilakukan dengan menerapkan analisa saringan sesuai prosedur yang mengacu pada SNI (Standar Nasional Indonesia) ASTM C136:2012.
2. Langkah untuk menghitung jumlah total bahan yang melewati saringan No. 200 (0,075) dilakukan dengan mengacu pada pemeriksaan yang sesuai dengan SNI ASTM C117:2012
3. Sifat campuran yang dilaksanakan menggunakan metode *Marshall Test* dengan mengikuti prosedur sesuai dengan SNI-06-2489-1991 dan ASTM D6927-15

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan gradasi pada agregat kasar, agregat sedang dan agregat halus dengan menggunakan saringan, langkah-langkah pengujiannya yaitu sebagai berikut:

- a. Ambil sampel material lalu timbang sampel material yang akan digunakan untuk pengujian, kemudian keringkan di dalam oven pada suhu $(110 \pm 5^{\circ}\text{C})$ hingga mencapai berat tetap.
- b. Susunlah saringan pada mesin pengguncang secara berurutan, dimulai dari pan di bagian bawah, diikuti dengan saringan yang memiliki lubang terkecil, hingga saringan dengan lubang terbesar. Guncang saringan tersebut menggunakan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit.

- c. Diamkan selama 5 menit agar debu dari agregat dapat mengendap. Setelah itu, timbang berat yang tertahan pada setiap saringan.
- d. Setelah proses penyaringan, hitung persentase berat uji yang tertahan di setiap saringan dengan ukuran terkecil sampai terbesar.

3.7.2. Pemeriksaan Sifat Fisis Aspal

Pengujian sifat fisis pada aspal yang digunakan dalam penelitian, yaitu:

- a. Pemeriksaan Pemeriksaan nilai penetrasi pada aspal dengan mengikuti prosedur sesuai dengan SNI 2456:2011.
- b. Pemeriksaan titik lembek pada aspal dengan mengikuti prosedur sesuai dengan SNI 2434:2011.
- c. Pemeriksaan berat jenis pada aspal dengan mengikuti prosedur sesuai dengan SNI 2441:2011.

3.8. Rancangan Campuran Aspal Beton (*job mix design*)

Pembuatan benda uji dengan komposisi aspal normal yang di rencanakan menggunakan kadar aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6%. Pembuatan benda uji ini nantinya akan digunakan untuk menetapkan kadar aspal optimum yang akan digunakan pada campuran aspal modifikasi. Sampel/benda uji ini akan dilakukan pengujian specimen dengan metode standar *marshall* yang sesuai prosedur SNI 06-2489-1991 (PA-0305-76, AASHTO T-44-81 dan ASTM D-2042-76) berdasarkan variasi dari kadar aspal, desain, dan benda uji atau hasil dari pencampuran material yang berguna untuk mengetahui kadar aspal optimum (KAO). Untuk kombinasi variasi bahan tambah abu sekam padi (*rice husk ash*) 0%, 2%, 4%, 6% dan arang kayu 0%, 1%, 2%, 3% pada setiap variasi memiliki 3 sampel.

Tabel 3. 1 Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar Aspal (%)	Jumlah Sampel
4%	3
4,5%	3
5%	3
5,5%	3
6%	3
Total Sampel	15

Tabel 3. 2 Campuran Asal Beton Normal

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,2%	14,4 g
6	Aspal	5,8%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Total Sampel		3	

Tabel 3. 3 Campuran Aspal Beton dengan ASP 2% dan AK 0%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu sekam padi	2%	1,392 g
	Arang kayu	0%	0 g
Jumlah Total		102%	1201,392 g
Total Sampel		3	

Pada campuran aspal beton dengan bahan tambah abu sekam padi (ASP 2%) dan arang kayu (AK 0%) didapatkan jumlah total 102% dan 1201,392 gram dengan jumlah 3 sampel.

Tabel 3. 4 Campuran Aspal Beton dengan ASP 4% dan AK 0%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu sekam padi	4%	2,784 g
	Arang kayu	0%	0 g
Jumlah Total		104%	1202,784 g
Total Sampel		3	

Pada campuran aspal beton dengan bahan tambah abu sekam padi (ASP 4%) dan arang kayu (AK 0%) didapatkan jumlah total 104% dan 1202,784 gram dengan jumlah 3 sampel.

Tabel 3. 5 Campuran Aspal Beton dengan ASP 6% dan AK 0%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu sekam padi	6%	4,176 g
	Arang kayu	0%	0 g
Jumlah Total		106%	1204,176 g
Total Sampel		3	

Pada campuran aspal beton dengan bahan tambah abu sekam padi (ASP 6%) dan arang kayu (AK 0%) didapatkan jumlah total 106% dan 1204,176 gram dengan jumlah 3 sampel.

Tabel 3. 6 Campuran Aspal Beton dengan ASP 0% dan AK 1%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu sekam padi	0%	0 g
	Arang kayu	1%	0,696 g
Jumlah Total		101%	1200,696 g
Total Sampel		3	

Pada campuran aspal beton dengan bahan tambah abu sekam padi (ASP 0%) dan arang kayu (AK 1%) didapatkan jumlah total 101% dan 1200,696 gram dengan jumlah 3 sampel.

Tabel 3. 7 Campuran Aspal Beton dengan ASP 2% dan AK 1%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu sekam padi	2%	1,392 g
	Arang kayu	1%	0,696 g
Jumlah Total		103%	1202,088 g
Total Sampel		3	

Pada campuran aspal beton dengan bahan tambah abu sekam padi (ASP 2%) dan arang kayu (AK 1%) didapatkan jumlah total 103% dan 1202,088 gram dengan jumlah 3 sampel.

Tabel 3. 8 Campuran Aspal Beton dengan ASP 4% dan AK 1%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu sekam padi	4%	2,784 g
	Arang kayu	1%	0,696 g
Jumlah Total		105%	1203,480 g
Total Sampel		3	

Pada campuran aspal beton dengan bahan tambah abu sekam padi (ASP 4%) dan arang kayu (AK 1%) didapatkan jumlah total 105% dan 1203,480 gram dengan jumlah 3 sampel.

Tabel 3. 9 Campuran Aspal Beton dengan ASP 6% dan AK 1%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu sekam padi	6%	4,176 g
	Arang kayu	1%	0,696 g
Jumlah Total		107%	1204,872 g
Total Sampel		3	

Pada campuran aspal beton dengan bahan tambah abu sekam padi (ASP 6%) dan arang kayu (AK 1%) didapatkan jumlah total 107% dan 1204,872 gram dengan jumlah 3 sampel.

Tabel 3. 10 Campuran Aspal Beton dengan ASP 0% dan AK 2%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu sekam padi	0%	0 g
	Arang kayu	2%	1,392 g
Jumlah Total		102%	1201,392 g
Total Sampel		3	

Pada campuran aspal beton dengan bahan tambah abu sekam padi (ASP 0%) dan arang kayu (AK 2%) didapatkan jumlah total 102% dan 1201,392 gram dengan jumlah 3 sampel.

Tabel 3. 11 Campuran Aspal Beton dengan ASP 2% dan AK 2%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu sekam padi	2%	1,392 g
	Arang kayu	2%	1,392 g
Jumlah Total		104%	1202,784 g
Total Sampel		3	

Pada campuran aspal beton dengan bahan tambah abu sekam padi (ASP 2%) dan arang kayu (AK 2%) didapatkan jumlah total 104% dan 1202,784 gram dengan jumlah 3 sampel

Tabel 3. 12 Campuran Aspal Beton dengan ASP 4% dan AK 2%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu sekam padi	4%	2,784 g
	Arang kayu	2%	1,392 g
Jumlah Total		106%	1204,176 g
Total Sampel		3	

Pada campuran aspal beton dengan bahan tambah abu sekam padi (ASP 4%) dan arang kayu (AK 2%) didapatkan jumlah total 106% dan 1204,176 gram dengan jumlah 3 sampel.

Tabel 3. 13 Campuran Aspal Beton dengan ASP 6% dan AK 2%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu sekam padi	6%	4,176 g
	Arang kayu	2%	1,392 g
Jumlah Total		108%	1205,568 g
Total Sampel		3	

Pada campuran aspal beton dengan bahan tambah abu sekam padi (ASP 6%) dan arang kayu (AK 2%) didapatkan jumlah total 108% dan 1205,568 gram dengan jumlah 3 sampel.

Tabel 3. 14 Campuran Aspal Beton dengan ASP 0% dan AK

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu sekam padi	0%	0 g
	Arang kayu	3%	2,088 g
Jumlah Total		103%	1202,088 g
Total Sampel		3	

Pada campuran aspal beton dengan bahan tambah abu sekam padi (ASP 0%) dan arang kayu (AK 3%) didapatkan jumlah total 103% dan 1202,088 gram dengan jumlah 3 sampel.

Tabel 3. 15 Campuran Aspal Beton dengan ASP 2% dan AK 3%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu sekam padi	2%	1,392 g
	Arang kayu	3%	2,088 g
Jumlah Total		105%	1203,480 g
Total Sampel		3	

Pada campuran aspal beton dengan bahan tambah abu sekam padi (ASP 2%) dan arang kayu (AK 3%) didapatkan jumlah total 105% dan 1203,480 gram dengan jumlah 3 sampel.

Tabel 3. 16 Campuran Aspal Beton dengan ASP 4% dan AK 3%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu sekam padi	4%	2,784 g
	Arang kayu	3%	2,088 g
Jumlah Total		107%	1204,872 g
Total Sampel		3	

Pada campuran aspal beton dengan bahan tambah abu sekam padi (ASP 4%) dan arang kayu (AK 3%) didapatkan jumlah total 107% dan 1204,872 gram dengan jumlah 3 sampel.

Tabel 3. 17 Campuran Aspal Beton dengan ASP 6% dan AK 3%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu sekam padi	6%	4,176 g
	Arang kayu	3%	2,088 g
Jumlah Total		109%	1206,264 g
Total Sampel		3	

Pada campuran aspal beton dengan bahan tambah abu sekam padi (ASP 6%) dan arang kayu (AK 3%) didapatkan jumlah total 109% dan 1206,264 gram dengan jumlah 3 sampel.

Tabel 3. 18 Jumlah Sampel Variasi Abu Sekam Padi dan Arang Kayu

Nama Sampel	Agg batu $\frac{3}{4}$		Agg batu $\frac{1}{2}$		Abu batu		Filler		Pasir		Aspal		Abu Sekam Padi		Arang Kayu		Total Agg		Jumlah Sempel
	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	
ASP0BU1	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	0	0%	0	0%	0	100%	3
ASP0BU2	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	1.392	2%	0	0%	1.392	102%	3
ASP0BU3	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	2.784	4%	0	0%	2.784	104%	3
ASP0BU4	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	4.176	6%	0	0%	4.176	106%	3
ASP1BU1	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	0	0%	0.696	1%	0.696	101%	3
ASP1BU2	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	1.392	2%	0.696	1%	2.088	103%	3
ASP1BU3	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	2.784	4%	0.696	1%	3.48	105%	3
ASP1BU4	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	4.176	6%	0.696	1%	4.872	107%	3
ASP2BU1	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	0	0%	1.392	2%	1.392	102%	3
ASP2BU2	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	1.392	2%	1.392	2%	2.784	104%	3
ASP2BU3	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	2.784	4%	1.392	2%	4.176	106%	3
ASP2BU4	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	4.176	6%	1.392	2%	5.568	108%	3
ASP3BU1	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	0	0%	2.088	3%	2.088	103%	3
ASP3BU2	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	1.392	2%	2.088	3%	3.48	105%	3
ASP3BU3	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	2.784	4%	2.088	3%	4.872	107%	3
ASP3BU4	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	4.176	6%	2.088	3%	6.264	109%	3
JUMLAH BAHAN TAMBAH																			48
JUMLAH SAMPEL (KAO) 4%;4,5%;5%;5,5%;6%																			15
TOTAL SAMPEL																			63

3.9. Prosedur Kerja

Dalam penelitian terdapat prosedur kerja mencakup Langkah-langkah yang harus diikuti untuk memastikan bahwa setiap tahap penelitian dilakukan dengan benar, dengan Langkah sebagai Berikut:

3.9.1. Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Perencanaan campuran (*mix design*) komposisi dalam campuran, dan jumlah benda uji yang akan digunakan untuk pengujian merupakan tahapan perancangan *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC). Dalam desain lapis aus atau yang dikenal sebagai lapis perantara Laston/*Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC). Penggunaan gradasi menerus merupakan gradasi yang ideal pada lapis aus, maka dalam penelitian ini menggunakan gradasi dengan jenis gradasi menerus. Sebelum dilakukan pencampuran, setiap fraksi agregat diayak kemudian dianalisis.

3.9.2. Tahapan Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah dalam pembuatan benda uji yaitu sebagai berikut:

1. Mempersiapkan material dan peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian. Selanjutnya yaitu menentukan persentase masing-masing material, agar mempermudah dalam proses pencampuran serta dalam melakukan penimbangan secara kumulatif didapatkan proporsi campuran yang tepat.
2. Menyaring lalu menimbang setiap agregat ke dalam fraksi-fraksi yang telah ditentukan.
3. Proses pencampuran benda uji
 - Total setiap benda uji yang diperlukan agregat dan aspal sebesar ± 1200 gr, yang mana akan dibuat benda uji dengan tinggi yang kira-kira $63,5 \text{ mm} \pm 1,27 \text{ mm}$ ($2,5 \pm 0,05 \text{ inc}$).
 - Memanaskan agregat sampai pada suhu 150°C .
 - uangkan jumlah aspal yang diperlukan ke dalam agregat yang telah dipanaskan, lalu aduk dengan cepat hingga aspal dan agregat tercampur secara merata.

4. Proses pemadatan benda uji

- Membersihkan peralatan dan cetakan yang akan digunakan, untuk membuat benda uji yang telah dipanaskan hingga mencapai suhu antara 90 °C-150 °C.
- Meletakkan cetakan di atas landasan pemadat.
- Meletakkan kertas saring atau kertas penghisap yang sesuai dengan ukuran cetakan.
- Memasukkan campuran ke dalam cetakan lalu dipadatkan dengan menusuk-nusuk campuran menggunakan spatula, dilakukan sebanyak 15 kali disekeliling pinggirannya serta bagian tengahnya sebanyak 10 kali.
- Tempatkan kertas saring atau kertas penghisap di atas permukaan benda uji sesuai dengan ukuran cetakan.
- Padatkan campuran dengan suhu yang sesuai dengan kekentalan aspal yang digunakan, melakukan tumbukan sebanyak 75 kali untuk sisi atas dan 75 kali untuk sisi bawah.
- Setelah suhu tidak terlalu panas, keluarkan benda uji dari cetakan menggunakan alat *ekstruder*, kemudian letakkan benda uji di permukaan datar dan beri tanda pengenalan dengan spidol warna putih. Biarkan setiap benda uji selama 24 jam pada suhu ruang.

3.9.3. Metode Pengujian Sampel

Metode pengujian sampel dilakukan dengan mengikuti prosedur yang ditetapkan oleh RSNI M-01-2003 untuk *Marshall Test*. Berikut adalah langkah-langkah dalam pengujian *Marshall Test*:

1. Peralatan untuk *Marshall Test* mencakup alat uji listrik dengan daya 220 volt yang dirancang untuk memberikan beban pada sampel menggunakan *semi circular testing head* dengan kecepatan konstan hingga 51 mm (2 inci) per menit. Alat ini dilengkapi dengan *proving ring* beserta arloji tekan untuk mengukur stabilitas pada beban pengujian maksimum. Selain itu, terdapat *flow meter*, sering disebut arloji kelelahan, yang digunakan untuk mengukur tingkat kelelahan pada beban pengujian tertinggi.

2. *Water Bath* adalah alat yang dilengkapi dengan pengaturan suhu minimum 20°C dan kedalaman 150 mm (6 inci), serta memiliki rak bawah setinggi 50 mm.
3. *Thermometer* adalah alat untuk mengukur suhu air dalam *water bath* yang mampu bertahan pada suhu hingga $\pm 200^{\circ}\text{C}$.

Setelah *marshall test* dilaksanakan, maka dilakukan perhitungan untuk mengetahui:

- a. Berat volume benda uji
- b. Rongga udara / *Void In The Mix* (VIM)
- c. Rongga diantara mineral agregat / *Void In Material Aggregates* (VMA)
- d. Rongga terisi aspal / *Void Filled With Bitumen* (VFB)
- e. Tebal selimut aspal
- f. *Marshall Quotient* (MQ).

3.9.4. Pengujian *Stability* dan *Flow*

Pengujian *stability* dan *flow* dilakukan dengan menggunakan peralatan *Marshall Test*, dengan langkah-langkah berikut ini:

1. Merendam benda uji pada air dalam *water bath* selama 30-40 menit pada suhu tetap $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.
2. Melumasi *guide road* menggunakan minyak dengan viskositas rendah untuk memastikan pengoperasian yang lancar serta mempermudah pelepasan bagian atas *head* tanpa risiko terhambat atau terjepit yang mengakibatkan kegagalan pembuatan benda uji. Selain itu, terdapat prosedur pemeriksaan yang harus diikuti untuk instrumen pengukur beban, yaitu *proving ring*. Untuk menjamin pengukuran yang konsisten dan akurat, sangat penting untuk memeriksa dan memastikan bahwa dial *proving ring* diatur sedemikian rupa sehingga jarum penunjuk berada pada angka nol ketika tidak ada beban.
3. Setelah perendaman benda uji dalam *water bath*, setelah itu letakkan benda uji ditengah bagian bawah dari *test head*. Lalu meletakkan *Flow meter* diatas tanpa *guide road* dan jarum petunjuk dinolkan.

4. Memasang benda uji ke bagian atas alat penekan *Marshall Test* di atas sampel dan letakkan seluruhnya dalam mesin *Marshall Test*.
5. Selama prosedur ini, selongsong arloji harus dipegang secara stabil di bagian atas kepala penekan yang kemudian arloji yang digunakan untuk mengukur kelelahan (*Flow*) yang perlu dipasang pada salah satu batang pemandu. Untuk memastikan pengukuran awal yang akurat, langkah penting berikutnya adalah menyesuaikan posisi jarum pada arloji sehingga menunjuk pada angka nol.
6. Sebelum pembebanan dimulai, angkat kepala penekan bersama benda uji hingga menyentuh alas cincin penguji.
7. Atur jarum arloji tekan pada angka nol.
8. Lakukan pembebanan pada spesimen secara stabil dengan kecepatan sekitar 50,8 mm per menit hingga mencapai beban maksimum. Setelah itu, yang ditunjukkan oleh jarum tekanan, kurangi beban dan catat beban maksimum (stabilitas) yang tercapai. Ketebalan benda uji harus disesuaikan dengan faktor pengali jika ketebalan kurang dari 63,5 mm.
9. Ketika beban maksimum tercapai, catat tingkat pelelehan yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur pelelehan. Bersihkan alat setelah selesai.

3.10. Metode Analisis

Metode analisis pada penelitian ini yaitu menggunakan metode eksperimen di Laboratorium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang dengan proses penelitian yang dilaksanakan dalam enam tahap sebagai berikut.

Tahap I : Persiapan

Beberapa hal yang harus dipersiapkan penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Menyiapkan bahan seperti abu batu, pasir, *Medium Aggregate* $\frac{3}{4}$ ", *Coarse Agregat* $\frac{1}{2}$ ", *filler* dan aspal penetrasi 60/70.
2. Menyiapkan peralatan yang akan digunakan.
3. Menyiapkan formulir pengujian yang digunakan untuk mengolah hasil pengujian.

Tahap II : Pengujian Material

1. Pengujian agregat yang dilakukan meliputi:

- a. Pengujian analisa saringan agregat kasar dan halus.
- b. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan halus.
- c. Pengujian titik lembek.
- d. Pengujian penetrasi.
- e. Pemeriksaan berat jenis aspal.

Tahap III : Perancangan Campuran (*job Mix Design*)

Pada tahap ini dilakukan perencanaan campuran (*job mix design*) serta pembuatan benda uji yang menggunakan kadar aspal 5,8%, dengan bahan tambah abu sekam padi (*rice husk ash*) dengan presentase 0%, 2%, 4%, 6% dan arang kayu dengan presentase 0%, 1%, 2%, 3% untuk menentukan kadar aspal optimum.

Tahap IV : Pengujian *Marshall* Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO).

Pada tahap ini benda uji dengan variasi yang berbeda dilakukan pengujian *marshall test* untuk mendapatkan nilai *stability* dan *flow*. Tetapi sebelum itu, benda uji telah ditimbang berat kering, berat SSD dan berat sampel dalam air.

Tahap V : Analisa Hasil *Marshall Test*

Analisa hasil dari pengujian *marshall test* digunakan untuk mengetahui nilai *stability*, *flow*, VIM, VMA, VFB, MQ.

Tahap VI : Kesimpulan

Setelah melakukan analisis seluruh data pemeriksaan abu batu, pasir, *Medium Aggregate 3/4"*, *Coarse Aggregate 1/2"*, *filler*, aspal penetrasi 60/70, campuran bahan tambah abu sekam padi (*rice husk ash*) dan arang kayu dilakukan, didapatkan kesimpulan dari seluruh rangkaian pengujian yang telah dilaksanakan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pendahuluan

Penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian tahapan yang sistematis, mencakup dari proses pembuatan sampel benda uji, pelaksanaan eksperimen di laboratorium, penyusunan materi penelitian, serta evaluasi komposisi aspal dalam pengembangan material aspal yang lebih berkelanjutan.

Pada tahap penyediaan bahan, disiapkan agregat batu pecah yang diambil dari *stone crusher* PT. Semarang Multicons Kaliwungu Kendal, aspal penetrasi 60/70 diambil dari *Asphalt Mixing Plant* (AMP) PT. Semarang Multicons Kaliwungu Kendal, Sekam padi diambil dari penggilingan padi, dan arang kayu diperoleh dari proses pembakaran kayu dalam kondisi tanpa oksigen yang terbatas, sehingga kayu tersebut tidak terbakar sepenuhnya menjadi abu. Semua proses pengujian material, pembuatan sampel benda uji, dan *Marshall Test* dilakukan di laboratorium transportasi jalan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.



Gambar 4. 1 *Asphalt Mixing Plant* (AMP) PT. Semarang
Multicons Kendal

Sumber : Hasil Penelitian, 2025



Gambar 4. 2 Aspal Penetrasi 60/70
Sumber : Hasil Penelitian, 2025



Gambar 4. 3 Abu Sekam Padi
Sumber : Hasil Penelitian, 2025



Gambar 4. 4 Arang Kayu
Sumber : Hasil Penelitian, 2025

4.2. Pengujian Material

Pengujian material ialah proses penting yang sangat dilakukan untuk menentukan sifat fisik dan mekanik dari sebuah material. Tujuan dari pengujian material adalah untuk memastikan bahwa material tersebut memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan, sehingga dapat digunakan dengan aman dan efektif.

4.2.1. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Penetrasi 60/70

Penelitian ini menggunakan aspal penetrasi 60/70, yang biasanya disebut dengan aspal Pertamina. Pengujian dilakukan untuk menguji 3 parameter yaitu penetrasi, titik lembek, dan berat jenis aspal, parameter digunakan untuk menunjukkan sifat utama dari aspal yang digunakan dalam campuran perkerasan lentur. Dengan menggunakan perbandingan dari Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) Nomor 16.1/SE/Db/2020, hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.1. dibawah ini.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Penetrasi 60/70

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Spesifikasi		Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Keterangan
			Min	Max			
1	Penetrasi 25°C, 100 g, 5 detik	0,1 mm	60	70	65	SNI 2456:2011	Memenuhi
2	Titik Lembek 5°C (<i>Ring and Ball Test</i>)	°C	48	58	50,5	SNI 2434:2011	Memenuhi
3	Berat Jenis	%	Min. 1,0	-	1.034	SNI 2441:2011	Memenuhi

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengujian aspal pen 60/70 memenuhi persyaratan spesifikasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua material memenuhi persyaratan dan dapat digunakan sebagai campuran aspal *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC). Pengujian penetrasi menghasilkan nilai yang berada dalam rentang yang disyaratkan. Secara keseluruhan, hasil pengujian ini mengkonfirmasi bahwa aspal pen 60/70 meningkatkan daya tahan dan stabilitas.

4.2.2. Pengujian Gradasi Agregat

Pengujian gradasi agregat, seperti agregat kasar dan agregat halus, dilakukan untuk memastikan bahwa agregat memiliki pembagian ukuran butiran yang sesuai dengan spesifikasi teknis yang sudah ditentukan dengan standar ASTM, AASHTO, dan SNI. Hasil pengujian atau analisis yang baik akan menghasilkan campuran yang baik, kuat dan tahan lama. Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengujian total dengan perbandingan berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) Nomor 16.1/SE/Db/2020.

Tabel 4. 2 Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan	Hasil	Keterangan
A	Agregat kasar				
1	Agregat Kasar Lolos Saringan #200				
	a. <i>Coarse Aggregate</i> ½"	SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%	0,64%	Memenuhi
	b. <i>Medium Aggregate</i> ¾"			0,60%	Memenuhi
2	Penyerapan Air Agregat Kasar				
	a. <i>Coarse Aggregate</i> ½"	SNI 1969:2016	Maks. 3%	1,610%	Memenuhi
	b. <i>Medium Aggregate</i> ¾"			2,090%	Memenuhi
3	Berat Jenis Agregat Kasar (Bulk Specific Gravity)				
	a. <i>Coarse Aggregate</i> ½"	SNI 1969:2016	Min. 2,5%	2,620%	Memenuhi
	b. <i>Medium Aggregate</i> ¾"			2,610%	Memenuhi
B	Agregat halus				
1	Agregat Kasar Lolos Saringan #200				
	a. Abu Batu	SNI 03-4142-1996	Maks. 15%	3,45%	Memenuhi
	b. Pasir			12,36%	Memenuhi
2	Penyerapan Air Agregat Kasar				
	a. Abu Batu	SNI 1970:2016	Maks. 3%	2,39%	Memenuhi
	b. Pasir			2,79%	Memenuhi
3	Berat Jenis Agregat Kasar (Bulk Specific Gravity)				
	a. Abu Batu	SNI 1970:2016	Min. 2,5%	2,51%	Memenuhi
	b. Pasir			2,51%	Memenuhi

Sumber : Hasil Penelitian,2025

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa material agregat yang berasal dari (AMP) PT. Semarang Multicons Kendal memenuhi persyaratan spesifikasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua material memenuhi persyaratan dan dapat digunakan sebagai campuran aspal AC-WC. Untuk *filler* menggunakan Semen *Portland* (PC). Jika tidak memenuhi spesifikasi atau persyaratan, material tidak dapat digunakan atau diganti dengan material yang mempunyai hasil uji lebih baik.

4.2.3. Pengujian Gradasi Agregat pada Hot Bin II

merupakan langkah penting dalam menentukan kualitas dan kesesuaian agregat untuk campuran aspal. Proses pengujian gradasi agregat *Hot Bin II* terdiri dari material agregat kasar atau *coarse aggregate* yang merupakan pengukuran distribusi ukuran agregat kasar yang meliputi material yang lolos dari saringan 1 ½ inci hingga 3/4 inci, serta material yang tertahan mulai dari saringan 1/2 inci hingga #200. Tabel 4.3 berikut menunjukkan hasil gradasi berdasarkan peraturan dari (SNI ASTM C136:2012).

Tabel 4. 3 Hasil Analisa Pembagian Butiran *Hot Bin II*

Jenis Material : HOT BIN II									
UKURAN SARINGAN		PERCOBAAN I			UKURAN SARINGAN		PERCOBAAN II		
SIEVE SIZE		TERTAHAN		LOLOS	SIEVE SIZE		TERTAHAN		RATA - RATA
inch	mm	gr	%	%	inch	gr	%	%	%
1 1/2"	37,5				1 1/2"				
1"	25,0				1"				
3/4"	19,0	-	-	100,00	3/4"	-	-	100,00	100,00
1/2"	12,5	1.599	53,30	46,70	1/2"	1.524	50,80	49,20	47,95
3/8"	9,5	2.806	93,53	6,47	3/8"	2.888	96,27	3,73	5,10
# 4	4,75	2.960	98,67	1,33	# 4	2.966	98,87	1,13	1,23
# 8	2,36	2.992	99,73	0,27	# 8	2.995	99,83	0,17	0,22
# 16	1,15	2.992	99,73	0,27	# 16	2.940	98,00	2,00	1,14
# 30	0,6	2.993	99,77	0,23	# 30	2.940	98,00	2,00	1,12
# 50	0,3	2.993	99,77	0,23	# 50	2.972	99,07	0,93	0,58
#100	0,15	2.996	99,87	0,13	#100	2.975	99,17	0,83	0,48
# 200	0,075	2.997	99,90	0,10	# 200	2.998	99,93	0,07	0,09
Weight Of Sample (gr)		3.000					3.000		

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Menurut data analisa saringan agregat kasar dari *Hot Bin II* menunjukkan 100% agregat lolos saringan 3/4", dan tertahan mulai dari saringan 1/2", ini menunjukkan bahwa material memiliki standar yang sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Agregat yang lolos saringan 1/2" memberikan hasil 47,95%. Sampel analisis saringan medium 5,10% lolos saringan 3/8" dan 1,23% lolos pada saringan #4.

4.2.4. Pengujian Gradasi Agregat Hot Bin III

Pengujian gradasi agregat pada *Hot Bin III* bertujuan untuk mengevaluasi distribusi ukuran agregat yang terdiri dari material medium agregat atau agregat kasar yang lolos saringan 1 1/2" hingga 1/2" dan tertahan mulai dari saringan 3/8" hingga saringan nomor #200. Berdasarkan peraturan dari (SNI ASTM C136:2012) guna memastikan bahwa agregat memenuhi spesifikasi yang diperlukan untuk aplikasi aspal. Hasil gradasi agregat ditunjukkan pada Tabel 4.4. Untuk menentukan gradasi agregat pada lapisan *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dengan ukuran maksimal 1/2".

Tabel 4. 4 Hasil Analisa Pembagian *Hot Bin III*

Jenis Material : HOT BIN III									
UKURAN SARINGAN		PERCOBAAN I			UKURAN SARINGAN	PERCOBAAN II			RATA - RATA
SIEVE SIZE		TERTAHAN		LOLOS	SIEVE SIZE	TERTAHAN		LOLOS	
inch	mm	gr	%	%	inch	gr	%	%	%
1"	25				1"				
3/4"	19				3/4"				
1/2"	12,5	-	-	100,00	1/2"	-	-	100,00	100,00
3/8"	9,5	522	34,80	65,20	3/8"	533	35,53	64,47	64,84
# 4	4,75	1.202	80,13	19,87	# 4	1.218	81,20	18,80	19,34
# 8	2,36	1.387	92,47	7,53	# 8	1.415	94,33	5,67	6,60
# 16	1,15	1.382	92,13	7,87	# 16	1.410	94,00	6,00	6,94
# 30	0,6	1.398	93,20	6,80	# 30	1.395	93,00	7,00	6,90
# 50	0,3	1.401	93,40	6,60	# 50	1.403	93,53	6,47	6,54
#100	0,15	1.408	93,87	6,13	#100	1.404	93,60	6,40	6,27
# 200	0,075	1.465	97,67	2,33	# 200	1.467	97,80	2,20	2,27
Weight Of Sample (gr)		1.500					1.500		

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Menurut data analisa saringan agregat kasar pada *Hot Bin III* menunjukkan bahwa 100% agregat lolos saringan 1/2" dan mulai tertahan pada saringan 3/8". Sampel analisis saringan medium 64,84% lolos saringan 3/8" dan 9,34% tertahan pada saringan #4. Agregat yang lolos saringan #8 memberikan hasil 6,90%. Secara keseluruhan, hasil analisa saringan ini menunjukkan bahwa material yang digunakan memenuhi spesifikasi yang ditentukan dalam standar (SNI ASTM C136:2012). Kesesuaian ini sangat penting untuk memastikan bahwa campuran aspal yang dihasilkan memiliki

kualitas yang tinggi, mampu mendukung beban lalu lintas, dan tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan.

4.2.5. Pengujian Gradasi Agregat Hot Bin IV

Pengujian Gradasi Agregate *Hot Bin IV* melibatkan material agregat Halus yang lolos saringan 1 ½” hingga nomor #4 dan tertahan dari saringan nomor #8. Berdasarkan peraturan dari (SNI ASTM C136:2012), hasil gradasi agregat ditunjukkan pada Tabel 4.5. Untuk menentukan gradasi agregat pada lapisan *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) agregat halus yang digunakan adalah abu batu.

Tabel 4. 5 Hasil Analisa Pembagian *Hot Bin IV*

Jenis Material : HOT BIN IV									
UKURAN SARINGAN		PERCOBAAN I			UKURAN SARINGAN	PERCOBAAN II			RATA - RATA
SIEVE SIZE		TERTAHAN		LOLOS	SIEVE SIZE	TERTAHAN		LOLOS	
inch	mm	gr	%	%	inch	gr	%	%	%
1"	25				1"				
3/4"	19				3/4"				
1/2"	12,5				1/2"				
3/8"	9,5				3/8"				
# 4	4,75	-	-	100,00	# 4	-	-	100,00	100,00
# 8	2,36	120,0	24,00	76,00	# 8	129,0	25,80	74,20	75,10
# 16	1,15	249,0	49,80	50,20	# 16	260,0	52,00	48,00	49,10
# 30	0,6	383,0	76,60	23,40	# 30	375,0	75,00	25,00	24,20
# 50	0,3	398,0	79,60	20,40	# 50	400,0	80,00	20,00	20,20
#100	0,15	441,0	88,20	11,80	#100	451,0	90,20	9,80	10,80
# 200	0,075	487,0	97,40	2,60	# 200	480,0	96,00	4,00	3,30
Weight Of Sample (gr)		500,0				500,0			

Sumber : Hasil Penelitian,2025

Menurut data analisa saringan agregat halus pada *Hot Bin IV* yaitu abu batu menunjukkan bahwa 100% agregat yang lolos saringan No. #4 dan tertahan pada saringan No. #8. Selain itu 75,10% termasuk agregat yang lolos saringan No. #8. Agregat lolos saringan No. #16 memberikan hasil 49,10%. Secara keseluruhan, hasil analisa saringan ini menunjukkan bahwa material yang digunakan memenuhi spesifikasi yang ditentukan dalam standar (SNI ASTM C136:2012). Kesesuaian ini sangat penting untuk memastikan bahwa campuran aspal yang dihasilkan memiliki

kualitas yang tinggi, mampu mendukung beban lalu lintas, dan tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan.

4.2.6. Pengujian Pasir

Kualitas pasir yang digunakan dalam campuran aspal sangat penting untuk memastikan performa dan daya tahan dari struktur perkerasan. Oleh karena itu, pasir tersebut harus melalui proses pengujian gradasi untuk menentukan kesesuaiannya dengan standar yang ditetapkan. Pasir yang memenuhi standar, yaitu yang lolos saringan 1 ½” hingga saringan No. #30 dan tertahan mulai dari saringan No. #50. Tabel 4.6 menunjukkan hasil pengujian gradasi pasir berdasarkan peraturan dari (SNI ASTM C136:2012).

Tabel 4. 6 Hasil Analisa Pembagian Butiran Pasir

Jenis Material : PASIR									
UKURAN SARINGAN		KOMULATIF			RATA - RATA	KOMULATIF			RATA - RATA
		TERTAHAN		LOLOS		TERTAHAN		LOLOS	
inch	mm	gr	%	%		gr	%	%	%
1 1/2"	37,5	0.00	0.00	100,00	100,00	0.00	0.00	100,00	100,00
1"	25,0	0.00	0.00	100,00	100,00	0.00	0.00	100,00	100,00
3/4"	19,0	0.00	0.00	100,00	100,00	0.00	0.00	100,00	100,00
1/2"	12,5	0.00	0.00	100,00	100,00	0.00	0.00	100,00	100,00
3/8"	9,5	0.00	0.00	100,00	100,00	0.00	0.00	100,00	100,00
# 4	4,75	0.00	0.00	100,00	100,00	0.00	0.00	100,00	100,00
# 8	2,36	0.00	0.00	100,00	100,00	0.00	0.00	100,00	100,00
# 16	1,15	0.00	0.00	100,00	100,00	0.00	0.00	100,00	100,00
# 30	0,6	0.00	0.00	100,00	100,00	0.00	0.00	100,00	100,00
# 50	0,3	320,0	64,00	36,00	38,20	298,0	59,60	40,40	38,20
#100	0,15	453,0	90,60	9,40	10,40	443,0	88,60	11,40	10,40
# 200	0,075	448,0	89,60	10,40	8,70	465,0	93,00	7,00	8,70
Berat Contoh		500,0				500,0			

Sumber : Hasil Penelitian,2025

Menurut data analisa saringan agregat halus pasir menunjukkan bahwa 100% agregat lolos saringan No. #30 dan tertahan mulai dari saringan No. #50. Agregat yang lolos saringan No.#50 mempunyai hasil 38,20%. Selain itu 10,40% termasuk agregat yang lolos saringan No. #100. Secara keseluruhan, hasil analisa saringan ini menunjukkan bahwa material yang digunakan memenuhi spesifikasi yang ditentukan dalam standar (SNI ASTM C136:2012). Kesesuaian ini sangat penting untuk

memastikan bahwa campuran aspal yang dihasilkan memiliki kualitas yang tinggi, mampu mendukung beban lalu lintas, dan tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan.

4.2.7. Pengujian *Filler* (Semen)

Pengujian dilakukan pada semen untuk memastikan kualitas semen sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Semen adalah material yang digunakan sebagai *filler* pada komposisi aspal, semen yang digunakan adalah Semen Portland yang lolos saringan No. #8 hingga #100 dan tertahan pada saringan No. #200 adalah semen yang digunakan. Tabel 4.7. menunjukkan hasil gradasi berdasarkan peraturan dari (SNI ASTM C136:2012).

Tabel 4. 7 Hasil Analisa Pembagian Butiran *Filler* (Semen)

Jenis Material : FILLER (SEMEN)								
UKURAN SARINGAN		PERCOBAAN I			PERCOBAAN II			RATA - RATA
		TERTAHAN		LOLOS	TERTAHAN		LOLOS	
SIEVE SIZE								
inch	mm	gr	%	%	gr	%	%	%
1 1/2"	37,5							
1"	25,0							
3/4"	19,0							
1/2"	12,5							
3/8"	9,5							
# 4	4,75							
# 8	2,36	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 16	1,15	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 30	0,6	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 50	0,3	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
#100	0,15	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 200	0,075	2,5	2,50	97,50	1,1	1,10	98,90	98,20
Weight Of Sample (gr)		100,0			100,0			

Sumber : Hasil Penelitian,2025

Pada analisa saringan menunjukkan bahwa *filler* terbagi pada setiap saringan, pada setiap tabel pembagian butiran jenis material *filler* lolos saringan No. 1" sampai No. #100, dan *filler* hanya akan tertahan pada saringan No. #200 dengan hasil 98,20%. Secara keseluruhan, hasil analisa saringan ini menunjukkan bahwa material yang digunakan memenuhi spesifikasi yang ditentukan dalam standar (SNI ASTM C136:2012). Kesesuaian ini sangat penting untuk memastikan bahwa campuran aspal

yang dihasilkan memiliki kualitas yang tinggi, mampu mendukung beban lalu lintas, dan tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan.

4.2.8. Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash*)

Abu Sekam Padi merupakan material yang digunakan sebagai bahan tambah, yang lolos saringan No. #16 dan tertahan saringan No. #200. Material Abu Sekam ini dihaluskan agar memenuhi syarat gradasi yang sudah ditentukan agar bisa menjadi bahan tambah campuran aspal. Tabel 4.8 berikut menunjukkan hasil gradasi berdasarkan peraturan dari (SNI ASTM C136:2012).

Tabel 4. 8 Hasil Analisa Pembagian Butiran Abu Sekam Padi

Jenis Material : Abu Sekam Padi								
UKURAN SARINGAN		PERCOBAAN I			PERCOBAAN II			RATA - RATA
		TERTAHAN		LOLOS	TERTAHAN		LOLOS	
SIEVE SIZE								
inch	mm	gr	%	%	gr	%	%	%
11/2"	37,5							
1"	25,0							
3/4"	19,0							
1/2"	12,5							
3/8"	9,5							
# 4	4,75							
# 8	2,36	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 16	1,15	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 30	0,6	-	-	98,00	-	-	100,00	99,00
# 50	0,3	-	-	97,00	-	-	100,00	98,50
#100	0,15	120,0	60,00	95,00	138,0	69,00	31,00	63,00
# 200	0,075	8,7	4,35	80,00	9,8	4,90	95,10	87,55
Weight Of Sample (gr)		200,0			200,0			

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Untuk abu sekam padi terbagi disetiap saringan karena memiliki partikel halus atau kecil dan juga memiliki distribusi partikel yang seragam dengan syarat gradasi tertentu. Abu sekam hanya tertahan pada saringan No. #200 sebanyak 8,7%.

Agregat yang lolos saringan No. #100 memberikan hasil 95,00%. Secara keseluruhan, hasil analisa saringan ini menunjukkan bahwa material yang digunakan memenuhi spesifikasi yang ditentukan dalam standar (SNI ASTM C136:2012). Kesesuaian ini sangat penting untuk memastikan bahwa campuran aspal yang dihasilkan memiliki kualitas yang tinggi, mampu mendukung beban lalu lintas, dan tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan.

4.2.9. Hasil Perhitungan Kombinasi Agregat

Kombinasi agregat adalah proses penyatuan atau penggabungan material menjadi satu kesatuan yang lebih utuh. Proses ini terdiri dari masing-masing material agregat yang lolos dari saringan 3/4" dan tertahan mulai dari saringan 1/2" sampai dengan saringan No. #200. Dalam kombinasi agregat juga termasuk *Hot Bin II*, *Hot Bin III*, *Hot Bin IV*, Pasir, *Filler* (Semen), dan Abu sekam.

Tabel 4. 9 Perhitungan Kombinasi Agregat

Uraian		1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200
Inch		1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200
mm		25	19	12,7	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
Data Material												
Batu Pecah Max 3/4'		100,00	100,00	73,35	25,33	1,53	1,06	0,26	0,24	0,23	0,23	0,00
Batu Pecah Max 1/2'		100,00	100,00	100,00	79,02	32,12	6,08	2,40	2,13	1,79	1,44	0,83
Abu Batu		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	77,29	49,04	31,09	25,07	15,85	8,00
Pasir		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	91,96	82,43	82,43	58,44	37,94	4,56
Filler Semen		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	89,35
Komposisi Campuran												
Batu Pecah Max 3/4'	12,00%	12,00	12,00	8,80	3,04	0,18	0,13	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00
Batu Pecah Max 1/2'	40,00%	40,00	40,00	40,00	31,61	12,85	2,43	0,96	0,85	0,71	0,58	0,33
Abu Batu	44,00%	44,00	44,00	44,00	44,00	44,00	34,01	21,58	13,68	11,03	6,97	3,52
Pasir	3,00%	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,76	2,47	2,47	1,75	1,14	0,14
Filler Semen	1,00%	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,89
Total Campuran	100,00%	100,00	100,00	96,80	82,65	61,03	40,32	26,04	18,03	14,53	9,71	4,88
Spesifikasi Gradasi												
Max		100	100	100	90	69	53	40	30	22	15	9
Min		100	100	90	77	53	33	21	14	9	6	4
Toleransi Komposisi				5,00	5,00	5,00	10,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
max		100,00		100,00	88,50	66,00	46,00	33,50	25,00	18,50	12,50	7,50
min		95,00		90,00	78,50	56,00	40,00	27,50	19,00	12,50	8,50	5,50
Luas Permukaan Agregat	:	5,55										

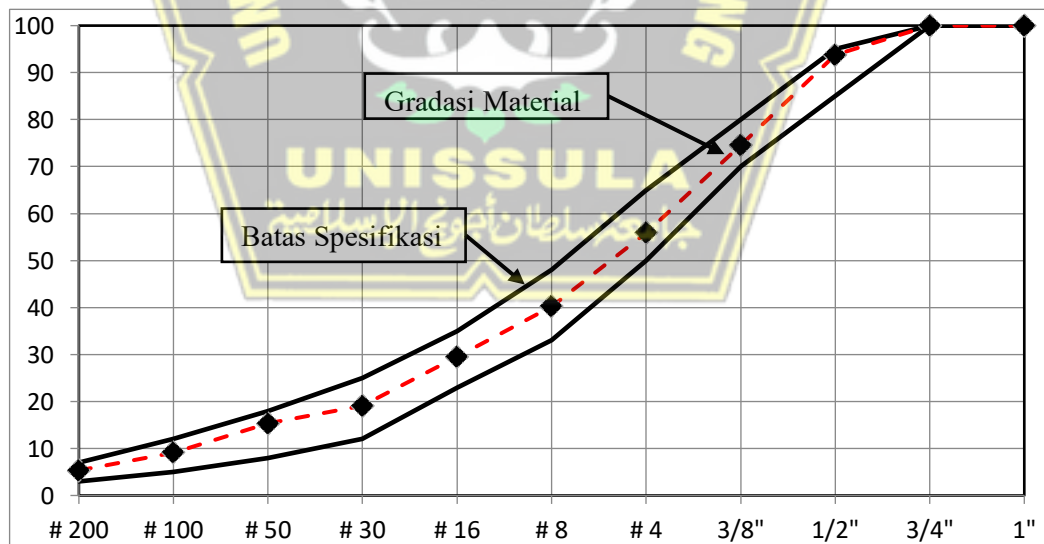
Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Tabel 4. 10 Spesifikasi Batas Kombinasi Lolos Saringan

No Saringan	Spesifikasi		Prosentase Lolos (Kombinasi)
	Batas Atas	Batas Bawah	
# 200	7	3	5,34
# 100	12	5	9,12
# 50	18	8	15,32
# 30	25	12	19,06
# 16	35	23	29,53
# 8	48	33	40,21
# 4	65	50	55,88
3/8"	80	70	74,55
1/2"	95.0	85	93,75
3/4"	100.0	100	100.00
1"	100.0	100.00	100.00

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Tabel di atas menunjukkan data yang berisi hasil dari campuran gradasi kombinasi agregat secara keseluruhan, yang dimana tidak boleh melebihi batas minimal dan maksimal spesifikasi. Hasil dari grafik kombinasi agregat dan batas spesifikasi dapat dilihat pada Grafik 4.1 di bawah.



Grafik 4. 1 Kombinasi Gradasi Agregat

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Grafik 4.1 menunjukkan bahwa pengujian analisa kombinasi agregat memiliki prosentase lolos saringan dari No. #200 hingga 1". Hasil pengujian tidak boleh melewati batas atas atau batas bawah sesuai dengan standar yang tersedia. Jika terdapat agregat yang melewati salah satu batas, agregat tersebut tidak diizinkan untuk digunakan sebagai material pengisi pada AC – WC, karena tidak sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

4.3. Hasil Perhitungan Kombinasi

Hasil perhitungan kombinasi adalah proses untuk menentukan jumlah dengan menggabungkan beberapa elemen, hasil perhitungan yang baik menunjukkan tingkat keberhasilan dalam sebuah pengujian. Hasil kombinasi ini menunjukkan pentingnya perpaduan antara komponen atau material-material yang dapat menghasilkan nilai yang lebih tinggi dari pada masing-masing material secara terpisah.

4.4. Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (AASHTO-209s)

Pengujian berat jenis campuran aspal bertujuan untuk menentukan kepadatan dari campuran aspal. Pengujian ini penting untuk mengevaluasi kualitas dan kesesuaian campuran aspal dengan standart yang sudah ada. Untuk menentukan berat jenis dilakukan dengan mengukur berat benda uji dan isi. Selain itu, benda uji harus melalui pengujian pengisapan untuk mengeluarkan udara yang ada di dalamnya.

4.4.1. Pengujian Berat Jenis Dengan Campuran Komposisi Normal

Massa dan rasio suatu benda dengan volumenya dikenal sebagai berat jenis, biasanya dinyatakan dengan satuan volume (kg/m^3 atau g/m^3). Pengujian berat jenis campuran aspal biasa memiliki 5 kadar variasi aspal yakni 4%, 4,5%, 5%, 5,5% dan 6%. Untuk masing – masing kadar variasi ada tiga benda uji GMM.

Tabel 4. 11 Pemeriksaan Berat Jenis Komposisi Normal

No.	Kadar Aspal Normal		Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM)														
	Contoh No :		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Berat Botol + Contoh	Grm	1.421	1.415	1.406	1.398	1.408	1.400	1.389	1.380	1.380	1.413	1.398	1.415	1.409	1.410	1.408
2	Berat Botol	Grm	767	767	767	767	767	767	767	767	767	767	767	767	767	767	767
3	Berat Contoh (1 - 2)	Grm	654	648	639	631	641	633	622	613	613	646	631	648	642	643	641
4	Berat Botol + Contoh + Air (batas kaliberasi)	Grm	1.930	1.932	1.930	1.929	1.930	1.928	1.932	1.928	1.928	1.926	1.929	1.929	1.933	1.932	1.930
5	Berat botol + Air (batas kaliberasi)	Grm	1.545	1.546	1.544	1.551	1.554	1.554	1.563	1.570	1.568	1.546	1.558	1.557	1.555	1.560	1.558
6	Berat air (4 - 5)	Grm	385	386	386	378	376	374	369	358	360	380	371	372	378	372	372
7	Volume contoh (3 - 6)	Grm	269	262	253	253	265	259	253	255	253	266	260	276	264	271	269
8	Max Specific Gravity (Gmm) (3 : 7)	Grm/cc	2,431	2,473	2,526	2,494	2,419	2,444	2,458	2,404	2,423	2,429	2,427	2,348	2,432	2,373	2,383
9	Temperatur air T ° C	Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu	Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm) (8 x 10)	Grm/cc	2,431	2,473	2,526	2,494	2,419	2,444	2,458	2,404	2,423	2,429	2,427	2,348	2,432	2,373	2,383
rata - rata GMM Variasi Kadar Aspal			2,478			2,453			2,428			2,400			2,395		
			4,00%			4,50%			5,00%			5,50%			6,00%		

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Semua komposisi melalui pengujian berat jenis, untuk memastikan apakah mereka memenuhi standar spesifikasi. Pada campuran aspal normal mempunyai 5 variasi kadar aspal yaitu 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% dengan berat jenis maksimum aspal adalah 2,478 gr/cc.

4.4.2. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)

Dalam penelitian ini, campuran aspal terdiri dari 4 komposisi yaitu: komposisi Abu Sekam adalah 0%,2%,4% dan 6% serta bahan tambah Abu Arang Kayu adalah 0%, 1%, 2% dan 3%, dan komposisi normal. setiap komposisi memiliki 3 variasi yang digunakan sebagai pembanding.

Tabel 4. 12 Rincian Benda Uji

No	Kode Benda Uji	Keterangan	Masing-masing	Total
1	ASP0BU1	Penambahan Abu Sekam kadar 0% dan Penambahan Abu Arang kayu (0%, 1%, 2%, 3%)	3 Buah	12 Buah
2	ASP1BU2	Penambahan Abu Sekam kadar 2% dan Penambahan Abu Arang kayu (0%, 1%, 2%, 3%)	3 Buah	12 Buah
3	ASP2BU3	Penambahan Abu Sekam kadar 4% dan Penambahan Abu Arang kayu (0%, 1%, 2%, 3%)	3 Buah	12 Buah
4	ASP3BU4	Penambahan Abu Sekam kadar 6% dan Penambahan Abu Arang kayu (0%, 1%, 2%, 3%)	3 Buah	12 Buah

Setelah mengetahui komposisi campuran aspal, sampel dari benda uji diambil. Temperatur di mana aspal dicampur dengan agregat menunjukkan viskositas kinematis 170/20 centikotes, dan suhu di mana aspal dipadatkan menunjukkan viskositas kinematis 280/30 centikotes.

Semua 3 benda uji digunakan untuk membandingkan satu sama lain. Apabila ada salah satu benda uji yang tidak sesuai dengan spesifikasi Teknik Bina Marga 2018 revisi ke 2, maka perbedaan hasil uji dapat dibandingkan dengan benda uji yang lainnya.

4.4.3. Ringkasan Hasil Pengujian

Setelah mengetahui nilai presentase dari setiap fraksi agregat dan aspal dalam komposisi, berat material untuk rancangan campuran aspal dihitung berdasarkan kapasitas *mold* yang ada. Contoh untuk campuran AC-WC sebagai berikut :

- Kadar aspal	= 5.8 %	
- Kapasitas mold	= 1200 gr	
- Berat aspal	= 5.8 % x 1200	= 69.6 gr
- Berat total agregat	= (100 – 5.8)% x 1200	= 1130.4 gr
<i>Coarse Agg.</i> (1/2’)	= 25% x 1200 gr	= 300 gr
<i>Medium Agg.</i> (3/8’)	= 25% x 1200 gr	= 300 gr
Pasir	= 40 % x 1200 gr	= 480 gr
Abu batu	= 3% x 1200 gr	= 36 gr
Filler	= 1.2 % x 1200 gr	= 14.4 gr
Total Agregat	= 1130.4 gr	

Tabel 4.13. menunjukkan informasi tambahan tentang berat aspal dan berat agregat pada kadar aspal yang digunakan dalam perencanaan ini.

Tabel 4. 13 Komposisi Material AC-WC

No	Jenis Material	Komposisi	Berat	Kumulatif
			g	g
1	<i>Medium Aggregate</i> $\frac{3}{4}$ ”	25,0%	300,0	300,0
2	<i>Coarse Aggregate</i> $\frac{1}{2}$ ”	25,0%	300,0	600,0
3	Abu Batu	40,0%	480,0	1080,0
4	Pasir	3,0%	36,0	1116,0
5	Filler	1,2%	14,4	1130,4
6	Aspal	5,8%	69,6	1200,0

Sumber : Hasil Penelitian,2025

Pada tabel diatas setelah perhitungan komposisi benda uji, dapat disimpulkan dari pengujian AC-WC bahwa Kadar Aspal Optimum (KAO) adalah 5,8% dengan berat 69,6 g.

4.5. Pembuatan Benda Uji

Setelah hasil pengujian kadar aspal optimum (KAO) mendapatkan hasil kadar aspal terpilih 5,8% benda uji dibuat, dengan modifikasi Abu Sekam Padi dan Abu Arang Kayu. Dari modifikasi tersebut ada 16 variasi dan tiga benda uji akan dibuat untuk setiap variasi, yang ditunjukkan pada tabel 4.15.

Tabel 4. 14 Modifikasi dan Variasi Benda Uji

No	Benda Uji	Jumlah Benda Uji
1	Komposisi Normal + Abu Sekam Padi 0% + Arang Kayu 0%	3
2	Komposisi Normal + Abu Sekam Padi 2% + Arang Kayu 0%	3
3	Komposisi Normal + Abu Sekam Padi 4% + Arang Kayu 0%	3
4	Komposisi Normal + Abu Sekam Padi 6% + Arang Kayu 0%	3
5	Komposisi Normal + Abu Sekam Padi 0% + Arang Kayu 1%	3
6	Komposisi Normal + Abu Sekam Padi 2% + Arang Kayu 1%	3
7	Komposisi Normal + Abu Sekam Padi 4% + Arang Kayu 1%	3
8	Komposisi Normal + Abu Sekam Padi 6% + Arang Kayu 1%	3
9	Komposisi Normal + Abu Sekam Padi 0% + Arang Kayu 2%	3
10	Komposisi Normal + Abu Sekam Padi 2% + Arang Kayu 2%	3
11	Komposisi Normal + Abu Sekam Padi 4% + Arang Kayu 2%	3
12	Komposisi Normal + Abu Sekam Padi 6% + Arang Kayu 2%	3
13	Komposisi Normal + Abu Sekam Padi 0% + Arang Kayu 3%	3
14	Komposisi Normal + Abu Sekam Padi 2% + Arang Kayu 3%	3
15	Komposisi Normal + Abu Sekam Padi 4% + Arang Kayu 3%	3
16	Komposisi Normal + Abu Sekam Padi 6% + Arang Kayu 3%	3
Total Benda Uji		48

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Apabila salah satu benda uji tidak memenuhi spesifikasi teknis Bina Marga 2018 revisi ke 2 dan dua benda uji lainnya tidak memenuhi spesifikasi tersebut , maka hasil dari berbagai pengujian dapat dibandingkan. Untuk perbandingan, ada tiga benda uji yang bisa dibandingkan.

4.6. Pemeriksaan Berat Jenis Campuran (GMM) Pada Aspal Modifikasi

Pemeriksaan berat jenis campuran (GMM) digunakan untuk menghitung kepadatan dan tingkat pemadatan. Dan termasuk parameter penting dalam proses kontrol kualitas pada konstruksi jalan karena digunakan untuk menentukan berat jenis maksimum

benda uji. Campuran aspal dengan bahan tambah abu sekam (*rice husk ash*) dan Abu Sarang kayu sebanyak 16 variasi dengan 3 benda uji untuk pengujian *Maximum Specific Gravity* (GMM).

4.6.1. Berat Jenis Campuran Bahan Tambah Abu Sekam (*rice husk ash*) 0% -1% (ASP0BU1 - ASP1BU1) dan Arang Kayu (0%,1%,2%,3%)

Pemeriksaan berat jenis pada campuran Bahan Tambah Abu Sekam (*rice husk ash*) 0% - 1% dan Arang Kayu (0%,1%,2%,3%) dengan 3 benda uji GMM (*Maximum Specific Gravity*) atau sering disebut berat jenis maksimum yang bertujuan untuk mengevaluasi perubahan sifat fisik campuran akibat penambahan Abu Sekam dan Abu Arang Kayu.

Tabel 4. 15 Pemeriksaan berat jenis pada campuran Bahan Tambah Abu Sekam (*rice husk ash*) 0% - 1% (ASP0BU1 - ASP1BU1) dan Arang Kayu (0%,1%,2%,3%)

No.	Contoh No :		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Berat Botol + Contoh	Gmm	1.657	1.657	1.632	1.632	1.607	1.607	1.582	1.582	1.557	1.557
2	Berat Botol	Gmm	857	857	857	857	857	857	857	857	857	857
3	Berat Contoh (1 - 2)	Gmm	800	800	775	775	750	750	725	725	700	700
4	Berat Botol + Contoh + Air	Gmm	2.479	2.479	2.468	2.468	2.443	2.443	2.419	2.419	2.403	2.403
5	Berat botol + Air	Gmm	2.000	2.000	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011
6	Berat air (4 - 5)	Gmm	479	479	457	457	432	432	408	408	392	392
7	Volume contoh (3 - 6)	Gmm	321	321	318	318	318	318	317	317	308	308
8	Max Specific Gravity (Gmm) (3 : 7)	Gmm / cc	2.491	2.492	2.437	2.437	2.358	2.358	2.287	2.287	2.273	2.273
9	Temperatur air T °C	Gmm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu	Gmm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm) (8 x 10)	Gmm / cc	2.491	2.492	2.437	2.437	2.358	2.358	2.287	2.287	2.273	2.273
	Rata - rata			2.491		2.437		2.358		2.287		2.273
	Variasi		ASP0BU1		ASP0BU2		ASP0BU3		ASP0BU4		ASP1BU1	

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Dari tabel 4.15 mendapatkan hasil pemeriksaan GMM (*Maximum Specific Gravity*) atau berat jenis maksimum dari aspal modifikasi campuran Abu Sekam (*rice husk ash*) dan Arang Kayu (0%,1%,2%,3%). Dengan nilai GMM (*Maximum Specific Gravity*) atau berat jenis maksimum campuran adalah 2,491 gr / cc.

4.6.2. Berat Jenis Campuran Bahan Tambah Abu Sekam (*rice husk ash*) 1% - 2% (ASP1BU2 – ASP2BU2) dan Arang Kayu (0%,1%,2%,3%)

Pemeriksaan berat jenis pada campuran Bahan Tambah Abu Sekam (*rice husk ash*) 1% - 2% dan Arang Kayu (0%,1%,2%,3%) dengan 3 benda uji GMM (*Maximum Specific Gravity*) atau sering disebut berat jenis maksimum yang bertujuan untuk mengevaluasi perubahan sifat fisik campuran akibat penambahan Abu Sekam dan Abu Arang Kayu.

Tabel 4. 16 Pemeriksaan berat jenis pada campuran Bahan Tambah Abu Sekam (*rice husk ash*) 1% - 2% (ASP1BU2 – ASP2BU2) dan Arang Kayu (0%,1%,2%,3%)

No.	Contoh No :			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Berat Botol + Contoh		Grm	1.532	1.532	1.517	1.517	1.507	1.507	1.497	1.497	1.477	1.477
2	Berat Botol		Grm	857	857	857	857	857	857	857	857	857	857
3	Berat Contoh	(1 - 2)	Grm	675	675	660	660	650	650	640	640	620	620
4	Berat Botol + Contoh + Air		Grm	2.307	2.307	2.301	2.301	2.295	2.295	2.285	2.285	2.265	2.265
5	Berat botol + Air		Grm	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011
6	Berat air	(4 - 5)	Grm	296	296	290	290	284	284	274	274	254	254
7	Volume contoh	(3 - 6)	Grm	379	379	370	370	366	366	366	366	366	366
8	Max Specific Gravity (Gmm) (3 : 7)		Grm / cc	1,781	1,781	1,784	1,784	1,776	1,776	1,749	1,749	1,694	1,694
9	Temperatur air T °C		Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu		Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm) (8 x 10)		Grm / cc	1,781	1,781	1,784	1,784	1,776	1,776	1,749	1,749	1,694	1,694
		Rata - rata		1,781		1,784		1,776		1,749		1,694	
		Variasi		ASP1BU2		ASP1BU3		ASP1BU4		ASP2BU1		ASP2BU2	

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Dari tabel 4.16 mendapatkan hasil pemeriksaan GMM (*Maximum Specific Gravity*) atau berat jenis maksimum dari aspal modifikasi campuran Abu Sekam (*rice husk ash*) dan Arang Kayu (0%,1%,2%,3%). Dengan nilai GMM (*Maximum Specific Gravity*) atau berat jenis maksimum campuran adalah 1,784 gr / cc.

4.6.3. Berat Jenis Campuran Bahan Tambah Abu Sekam (*rice husk ash*) 2% - 3% (ASP2BU3 – ASP3BU4) dan Arang Kayu (0%,1%,2%,3%)

Pemeriksaan berat jenis pada campuran Bahan Tambah Abu Sekam (*rice husk ash*) 2% - 3% dan Arang Kayu (0%,1%,2%,3%) dengan 3 benda uji GMM (*Maximum Specific Gravity*) atau sering disebut berat jenis maksimum yang bertujuan untuk mengevaluasi perubahan sifat fisik campuran akibat penambahan Abu Sekam dan Abu Arang Kayu.

Tabel 4. 17 Pemeriksaan berat jenis pada campuran Bahan Tambah Abu Sekam (*rice husk ash*) 2% - 3% (ASP2BU3 – ASP3BU4) dan Arang Kayu (0%,1%,2%,3%).

No.	Contoh No :		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Berat Botol + Contoh	Grm	1.467	1.467	1.447	1.447	1.437	1.437	1.417	1.417	1.407	1.407	1.387	1.387
2	Berat Botol	Grm	857	857	857	857	857	857	857	857	857	857	857	857
3	Berat Contoh	(1 - 2) Grm	610	610	590	590	580	580	560	560	550	550	530	530
4	Berat Botol + Contoh + Air	Grm	2.255	2.255	2.236	2.236	2.225	2.225	2.215	2.215	2.205	2.205	2.184	2.184
5	Berat botol + Air	Grm	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011
6	Berat air	(4 - 5) Grm	244	244	225	225	214	214	204	204	194	194	173	173
7	Volume contoh	(3 - 6) Grm	366	366	365	365	366	366	356	356	356	356	357	357
8	Max Specific Gravity (Gmm) (3 : 7)	Grm / cc	1,667	1,667	1,616	1,616	1,585	1,585	1,573	1,573	1,545	1,545	1,485	1,485
9	Temperatur air T °C	Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu	Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm) (8 x 10)	Grm / cc	1,667	1,667	1,616	1,616	1,585	1,585	1,573	1,573	1,545	1,545	1,485	1,485
	Rata - rata			1,667		1,616		1,585		1,573		1,545		1,485
	Variasi			ASP2BU3		ASP2BU4		ASP3BU1		ASP3BU2		ASP3BU3		ASP3BU4

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Dari tabel 4.17 mendapatkan hasil pemeriksaan GMM (*Maximum Specific Gravity*) atau berat jenis maksimum dari aspal modifikasi campuran Abu Sekam (*rice husk ash*) dan Arang Kayu (0%,1%,2%,3%). Dengan nilai GMM (*Maximum Specific Gravity*) atau berat jenis maksimum campuran adalah 1,667 gr / cc.

4.7. Hasil Pemeriksaan *Marshall Test*



Gambar 4.5 Pengujian *Marshall*

Setelah merancang komposisi dan pembuatan benda uji dengan campuran komposisi yang telah dirancang dalam penelitian ini yang menghasilkan pembuatan 48 sampel uji. Setiap sampel akan melalui pengukuran tinggi, lebar, dan berat dalam 3 kondisi yang berbeda : kering, perendaman 24 jam dan kondisi *Saturated Surface-Dry* (SSD).

Proses perendaman dilakukan dalam *waterbath* (perendaman sampel dalam air yang dipanaskan) dalam suhu 60° C selama 30 menit, proses ini dilakukan sebelum melakukan pengujian selanjutnya. Setelah proses perendaman selesai sampel diuji menggunakan alat *Marshall* untuk mendapatkan data stabilitas dan *flow* (kelelehan).

Pengujian *Marshall* bertujuan untuk mendapatkan hasil parameter – parameter berikut : stabilitas, *flow*, MQ (*Marshall Quotient*), VMA (*Void in Mineral Aggregates*), VIM (*Void in Mix*) dan VFB (*Void Filled with Bitumen*). *Marshall* juga dikenal sebagai metode pengujian yang digunakan untuk menentukan karakteristik campuran aspal, untuk memastikan kualitas dan ketahanan rancangan campuran aspal terhadap beban lalu lintas dan cuaca.

Hasil setelah pemeriksaan *Marshall Test* berupa rekapitulasi yang tertera pada sebuah tabel dan dalam bentuk grafik dari seluruh nilai parameter yang dapat dilihat pada tabel di bawah. Pengujian telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Hasil yang diperoleh dari proses pengujian dibagi dalam 3 komposisi yaitu, komposisi normal, komposisi dengan kombinasi bahan tambah Abu sekam dan komposisi bahan tambah arang kayu.

4.7.1. Hasil *Marshall Test* Benda Uji Kombinasi Abu Sekam Padi (*rice husk ash*) 0% Dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

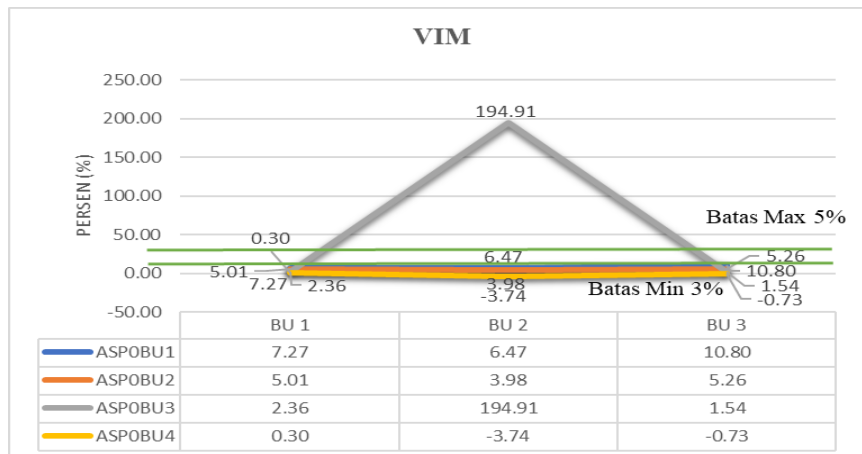
Hasil pengujian *marshall* untuk benda uji dengan komposisi modifikasi Abu Sekam Padi 0% dengan Abu Arang Kayu kadar 0%, 1%, 2% dan 3% dengan jumlah tiga benda uji setiap komposisi. Nilai *Marshall* yang diperoleh dari masing-masing komposisi dapat dilihat secara rinci pada Tabel 4.18. Tabel ini menyajikan informasi penting mengenai parameter-parameter seperti VMA, VIM, VFB, stabilitas, *flow*, dan nilai *Marshall Quotient*, yang merupakan indikator kunci dalam mengevaluasi performa campuran.

Tabel 4. 18 Hasil *Marshall* Komposisi Abu Sekam 0% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%

BJ Aspal (T) : 1,035		BJ Efektif Total Agregat (Gse) : 2,629				BJ Total Agg (Gsb) : 2,749		Kalibrasi Proving Ring : 9,817 Kg						
no	kadar	berat	berat	berat	volume/	bj. Bulk	bj. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		kelelahan	hasil bagi
benda	aspal	di udara	dlm air	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	tenisi	dibaca	di	plastis	marshall
uji							camp. Agg	agg.(vma)	camp.(vim)	aspal.(vfb)	arloji	sesuaikan	(flow)	(mq)
	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
	% berat	data	data	data				100 -	100 -	100(i-j)				
	total	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	(100 - b)g	(100*g)	i				m / n
	campuran							gsb	h					
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
ASPOBU1 (1)	5,8	1124,2	648,8	1135,4	486,6	2,310	2,491	20,83	7,27	65,10	118	1158,41	3,20	362,00
ASPOBU1 (2)	5,8	1127,4	655,8	1139,6	483,8	2,330	2,491	20,15	6,47	67,90	70	687,19	3,83	179,42
ASPOBU1 (3)	5,8	1121,0	626,0	1130,4	504,4	2,222	2,491	23,84	10,80	54,72	205	2012,49	2,20	914,77
Rata-rata	5,8					2,288	2,491	21,61	8,18	62,57	131,00	1286,03	3,08	417,99
ASPOBU2 (1)	5,8	1164,0	674,8	1177,6	502,8	2,315	2,437	20,67	5,01	75,77	99	971,88	3,40	285,85
ASPOBU2 (2)	5,8	1192,0	692,6	1202,0	509,4	2,340	2,437	19,81	3,98	79,89	87	854,08	3,48	245,43
ASPOBU2 (3)	5,8	1160,0	666,8	1169,2	502,4	2,309	2,437	20,88	5,26	74,81	209	2051,75	3,50	586,22
Rata-rata	5,8					2,321	2,437	20,46	4,75	76,82	131,67	1292,57	3,46	373,58
ASPOBU3 (1)	5,8	1162,0	669,2	1173,8	504,6	2,303	2,358	21,09	2,36	88,81	86	844,26	3,14	268,87
ASPOBU3 (2)	5,8	1138,0	658,2	1149,8	508,4	2,238	2,358	176,70	194,91	-10,30	66	647,92	4,33	149,64
ASPOBU3 (3)	5,8	1130,0	652,4	1139,0	486,6	2,322	2,358	20,42	1,54	92,47	193	1894,68	3,37	562,22
Rata-rata	5,8					0,796	2,358	72,74	66,27	56,99	115,00	1128,96	3,61	312,44
ASPOBU4 (1)	5,8	1162,0	668,4	1178,0	509,6	2,280	2,287	21,86	0,30	98,63	114	1119,14	3,79	295,29
ASPOBU4 (2)	5,8	1221,0	709,2	1233,8	514,6	2,373	2,287	18,69	-3,74	120,03	145	1423,47	4,43	321,32
ASPOBU4 (3)	5,8	1157,0	667,4	1169,6	502,2	2,304	2,287	21,05	-0,73	103,49	150	1472,55	3,18	463,07
Rata-rata	5,8					2,319	2,287	20,54	-1,39	107,38	136,33	1338,38	3,80	352,21

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

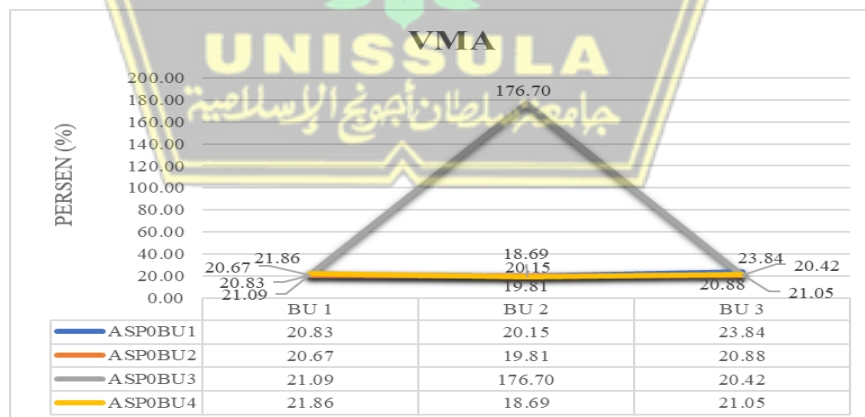
Dari Tabel 4.18 diperoleh nilai hasil dari parameter *Marshall Test* mendapatkan hasil yang bervariasi sesuai dengan campuran Abu Sekam dan Abu Arang Kayu. Dan pada Grafik 4.2 nilai VIM (*Void in Mix*) campuran Abu Sekam kadar 0% dengan Abu Arang Kayu kadar 0%, 1%, 2%, dan 3%, Pada benda uji ASP0BU1, ASP0BU3, dan ASP0BU4 tidak memenuhi spesifikasi dengan hasil rata-rata Rongga Udara (VIM) adalah 8,18%, 66,27%, dan -1,29%. dan untuk ASP0BU2 memenuhi spesifikasi dengan hasil rata-rata Rongga Udara (VIM) adalah 4,75. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji terdapat satu yang memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Sedangkan untuk spesifikasi dari Bina marga nilai minimum VIM (*Void in Mix*) berada pada angka 3.00% dan maksimum berada pada angka 5.00%.



Grafik 4. 2 Nilai VIM Pada Variasi Abu Sekam 0% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

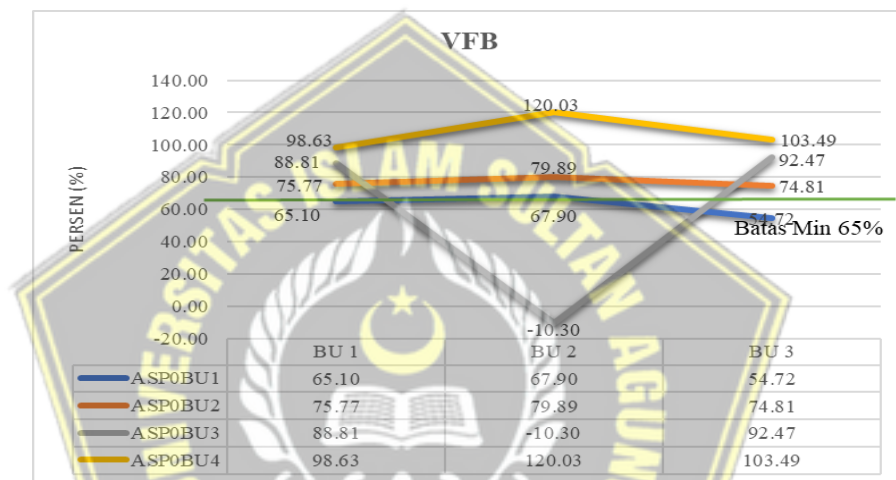
Pada grafik 4.3 nilai VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) yang dihasilkan campuran Abu Sekam dengan kadar 0% dengan Abu Arang Kayu dengan kadar 0%, 1%, 2%, dan 3% memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) yaitu 21,61%, 20,46%, 72,74%, dan 20,54%. Untuk nilai spesifikasi VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) dari Bina Marga yaitu minimum dengan angka 15,00%.



Grafik 4. 3 Nilai VMA Pada Variasi Abu Sekam 0% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

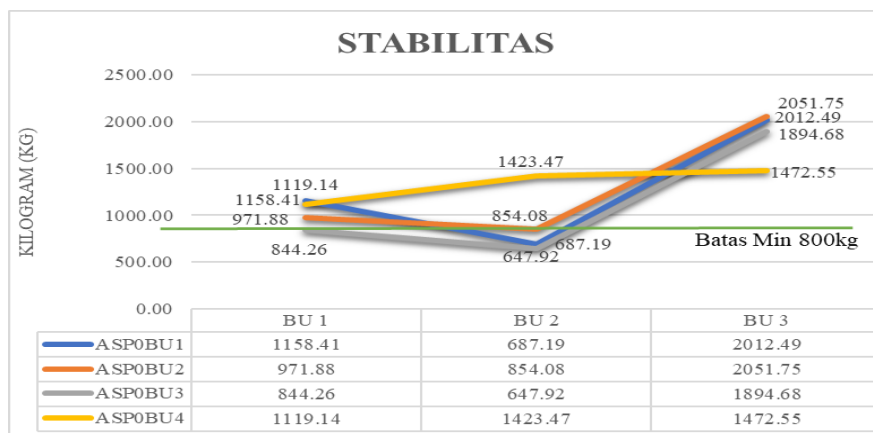
Pada grafik 4.4 nilai VFB (*Void Filled with Bitumen*) yang dihasilkan campuran Abu Sekam dengan kadar 0% dan Abu Arang Kayu dengan kadar 0%, 1%, 2%, dan 3%, Pada benda uji ASP0BU1 dan ASP0BU3 tidak memenuhi spesifikasi dengan hasil rata-rata VFB adalah 62,57% dan 56,99%. dan untuk ASP0BU2 dan ASP0BU4 memenuhi spesifikasi dengan hasil rata-rata VFB adalah 76,82% dan 107,38%. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji terdapat dua yang memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Spesifikasi minimum untuk VFB menurut Bina Marga adalah 65%. Dengan hasil rata-rata yang jauh di atas nilai minimum tersebut.



Grafik 4. 4 Nilai VFB Pada Variasi Abu Sekam 0% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

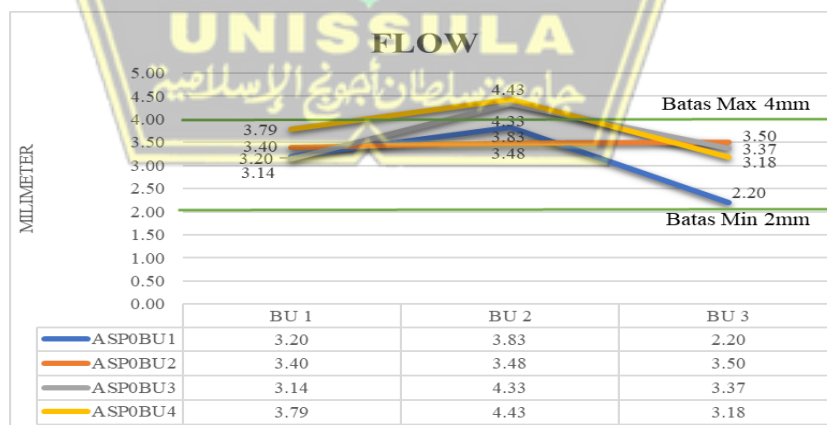
Pada grafik 4.5 nilai Stabilitas yang dihasilkan campuran Abu Sekam 0% dengan bahan tambah Abu Arang Kayu dengan kadar 0%, 1%, 2%, dan 3% memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata stabilitas yaitu 1286,03 kg, 1292,57 kg, 1128,96 kg, dan 1338,38 kg. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Adapun nilai spesifikasi minimum untuk stabilitas menurut Bina Marga adalah 800 kg. Dengan demikian, semua nilai stabilitas yang dihasilkan dari percobaan ini tidak hanya memenuhi, tetapi sudah cukup melampaui batas minimum yang ditentukan.



Grafik 4. 5 Nilai Stabilitas Pada Variasi Abu Sekam 0% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

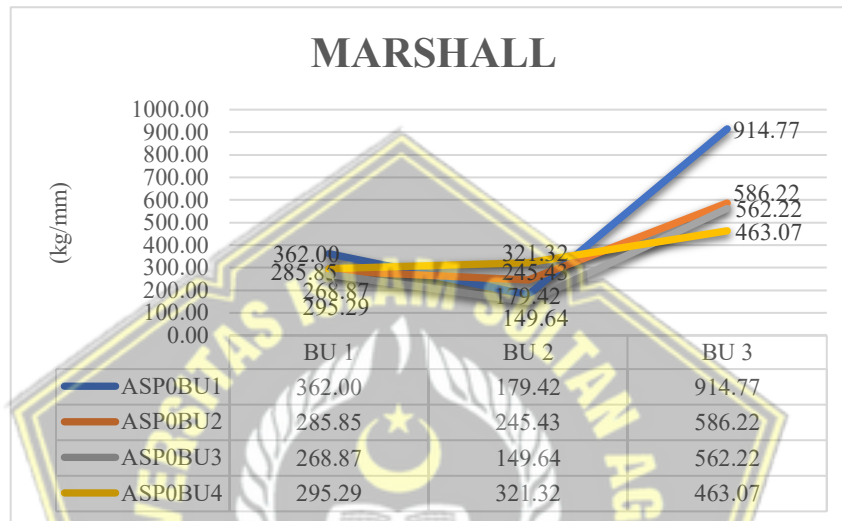
Pada grafik 4.6 nilai *flow* yang dihasilkan campuran Abu Sekam 0% dengan bahan tambah Abu Arang Kayu dengan kadar 0%, 1%, 2%, dan 3% memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata *flow* yaitu 3,08 milimeter, 3,46 milimeter, 3,61 milimeter, dan 3,80 milimeter. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi *flow* dari Bina Marga yaitu minimum dengan angka 2,00 milimeter dan untuk nilai maksimum dengan angka 4,00 milimeter.



Grafik 4. 6 Nilai *Flow* Pada Variasi Abu Sekam 0% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.7 nilai *Marshall Quotient* yang dihasilkan campuran Abu Sekam dengan kadar 0% dan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3% memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata *Marshall Quotient* yaitu 417,99 milimeter, 373,58 milimeter, 312,44 milimeter, dan 352,21 milimeter. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi nilai *Marshall Quotient* dari Bina marga belum ada.



Grafik 4. 7 Nilai *Marshall Quotient* Pada Variasi Abu Sekam 0% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Hasil komposisi campuran Abu Sekam dengan kadar 0% dan bahan tambah Abu Arang Kayu dengan kadar 1% dalam kondisi sesuai spesifikasi dan dapat digunakan sebagai perkerasan jalan sedangkan pada kadar 0%, 2%, 3%, tidak memenuhi spesifikasi dan tidak dapat digunakan sebagai lapisan perkerasan jalan. Dari hasil parameter *marshall test* yang memperoleh hasil yang berbeda beda, yang direpresentasikan secara rinci dalam tabel 4.19. tabel tersebut menyajikan data yang menggambarkan parameter-parameter penting seperti VMA, VIM, VFB, Stabilitas, *Flow*, dan nilai *marshall quotient*, yang semuanya merupakan indikator kunci dalam menentukan kualitas dan daya dukung campuran.

Tabel 4. 19 Rekap Hasil Rata-Rata Komposisi Abu Sekam Padi 0% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%

Uraian	Kadar Bahan Tambah Abu Sekam	Kadar Bahan Tambah Abu Arang Kayu	Spesifikasi	Hasil Pengujian Laboratorium	Keterangan
Rongga Udara (VIM)	0%	0%	3,0 - 5,0 %	8.18	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	0%	0%	Min 15%	21.61	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	0%	0%	Min 65%	62.57	Tidak Memenuhi
Stabilitas	0%	0%	Min 800 kg	1286.03	Memenuhi
Kelelahan Plastis / Flow	0%	0%	2,0 - 4,0	3.08	Memenuhi
Marshall Quotient	0%	0%	-	417.99	Memenuhi
Rongga Udara (VIM)	0%	1%	3,0 - 5,0 %	4.75	Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	0%	1%	Min 15%	20.46	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	0%	1%	Min 65%	76.82	Memenuhi
Stabilitas	0%	1%	Min 800 kg	1292.57	Memenuhi
Kelelahan Plastis / Flow	0%	1%	2,0 - 4,0	3.46	Memenuhi
Marshall Quotient	0%	1%	-	373.58	Memenuhi
Rongga Udara (VIM)	0%	2%	3,0 - 5,0 %	66.27	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	0%	2%	Min 15%	72.74	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	0%	2%	Min 65%	56.99	Tidak Memenuhi
Stabilitas	0%	2%	Min 800 kg	1128.96	Memenuhi
Kelelahan Plastis / Flow	0%	2%	2,0 - 4,0	3.61	Memenuhi
Marshall Quotient	0%	2%	-	312.44	Memenuhi
Rongga Udara (VIM)	0%	3%	3,0 - 5,0 %	-1.39	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	0%	3%	Min 15%	20.54	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	0%	3%	Min 65%	107.38	Memenuhi
Stabilitas	0%	3%	Min 800 kg	1338.38	Memenuhi
Kelelahan Plastis / Flow	0%	3%	2,0 - 4,0	3.80	Memenuhi
Marshall Quotient	0%	3%	-	352.21	Memenuhi

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

4.7.2. Hasil *Marshall Test* Benda Uji Kombinasi Abu Sekam Padi (*rice husk ash*) 2% Dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

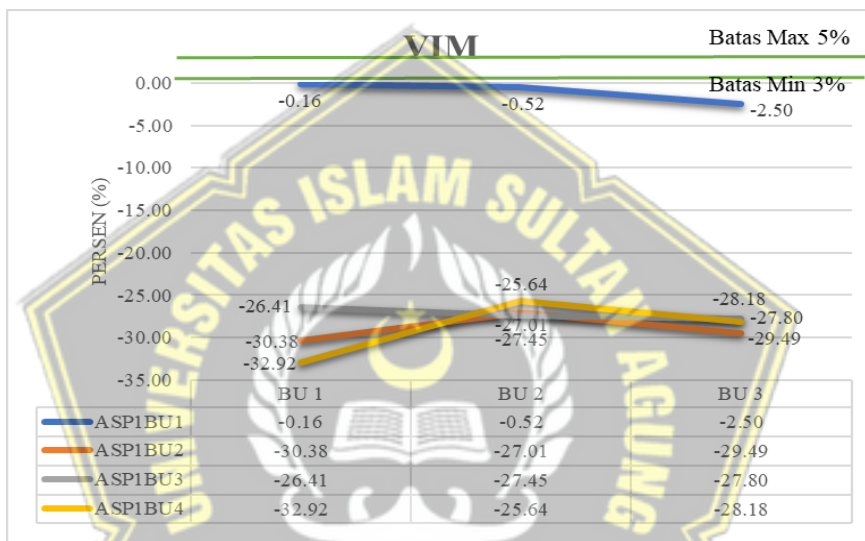
Hasil pengujian *marshall* untuk benda uji dengan komposisi modifikasi Abu Sekam Padi 2% dengan Abu Arang Kayu kadar 0%, 1%, 2% dan 3% dengan jumlah tiga benda uji setiap komposisi. Nilai *Marshall* yang diperoleh dari masing-masing komposisi dapat dilihat secara rinci pada Tabel 4.20. Tabel ini menyajikan informasi penting mengenai parameter-parameter seperti VMA, VIM, VFB, stabilitas, *flow*, dan nilai *Marshall Quotient*, yang merupakan indikator kunci dalam mengevaluasi performa campuran.

Tabel 4. 20 Hasil *Marshall* Komposisi Abu Sekam 2% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3

BJ Aspal (T) : 1.035		BJ Efektif Total Agregat (Gse) : 2.629				BJ Total Agg (Gsb) : 2.749			Kalibrasi Proving Ring : 9.817 Kg					
no	kadar	berat	berat	berat	volume/	bj. Bulk	bj. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		kelelahan	hasil bagi
benda	aspal	di udara	dlm air	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	plastis	marshall
uji							camp. Agg	agg.(vma)	camp.(vim)	aspal(vfb)	arloji	sesuaikan	(flow)	(mq)
	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
	% berat	data	data	data				100 -	100 -	100(i-j)				
	total	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	(100 - b)g	(100-g)	i				m / n
	campuran							gsb	h					
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
ASPIBU1 (1)	5.8	1130.0	647.4	1143.8	496.4	2.276	2.273	21.99	-0.16	100.73	81	795.18	4.57	174.00
ASPIBU1 (2)	5.8	1177.0	672.4	1187.6	515.2	2.285	2.273	21.72	-0.52	102.40	115	1128.96	3.45	327.23
ASPIBU1 (3)	5.8	1141.0	656.0	1145.8	489.8	2.330	2.273	20.17	-2.50	112.39	122	1197.67	2.83	423.21
Rata-rata	5.8					2.297	2.273	21.29	-1.06	105.17	106.00	1040.60	3.62	287.72
ASPIBU2 (1)	5.8	1181.0	678.4	1187.0	508.6	2.322	1.781	20.43	-30.38	248.70	125	1227.13	2.75	446.23
ASPIBU2 (2)	5.8	1150.0	658.4	1166.8	508.4	2.262	1.781	22.49	-27.01	220.09	84	824.63	4.83	170.73
ASPIBU2 (3)	5.8	1149.0	658.2	1156.4	498.2	2.306	1.781	20.97	-29.49	240.65	165	1619.81	3.08	525.91
Rata-rata	5.8					2.297	1.781	21.30	-28.96	236.48	124.67	1223.85	3.55	344.42
ASPIBU3 (1)	5.8	1182.0	671.4	1195.6	524.2	2.255	1.784	22.73	-26.41	216.17	107	1050.42	5.00	210.08
ASPIBU3 (2)	5.8	1184.0	678.4	1199.2	520.8	2.273	1.784	22.10	-27.45	224.23	114	1119.14	3.22	347.56
ASPIBU3 (3)	5.8	1174.0	669.0	1184.0	515.0	2.280	1.784	21.88	-27.80	227.01	134	1315.48	3.40	386.91
Rata-rata	5.8					2.269	1.784	22.24	-27.22	222.47	118.33	1161.68	3.87	299.92
ASPIBU4 (1)	5.8	1194.0	695.6	1201.4	505.8	2.361	1.776	19.11	-32.92	272.28	105	1030.79	3.34	308.62
ASPIBU4 (2)	5.8	1121.0	638.6	1141.0	502.4	2.231	1.776	23.54	-25.64	208.91	143	1403.83	3.20	438.70
ASPIBU4 (3)	5.8	1171.0	671.8	1186.2	514.4	2.276	1.776	21.99	-28.18	228.13	253	2483.70	2.97	836.26
Rata-rata	5.8					2.289	1.776	21.55	-28.91	236.44	167.00	1639.44	3.17	517.17

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

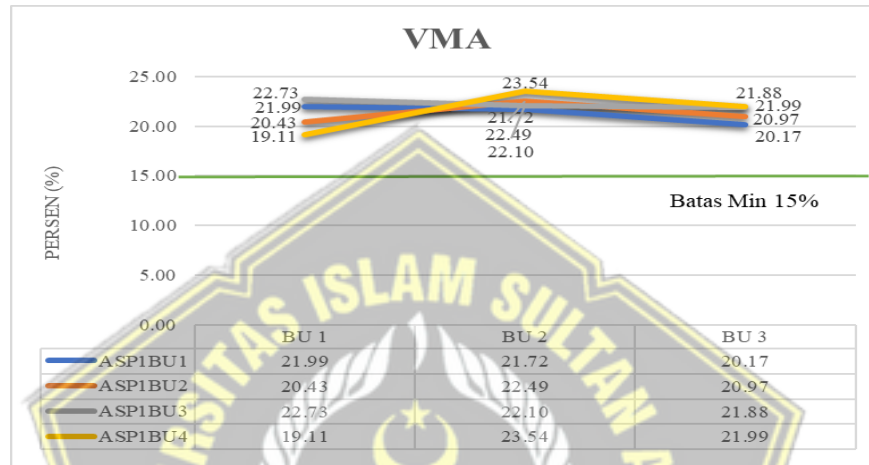
Dari Tabel 4.20 diperoleh nilai hasil dari parameter *Marshall Test* mendapatkan hasil yang bervariasi sesuai dengan campuran Abu Sekam dan Abu Arang Kayu. Dan pada Grafik 4.8 nilai VIM (*Void in Mix*) campuran Abu Sekam kadar 2% dengan Abu Arang Kayu kadar 0%, 1%, 2%, dan 3%, tidak memenuhi spesifikasi dengan hasil rata-rata Rongga Udara (VIM) adalah -1,06%, -28,96%, -27,22%, dan -28,91%. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing-masing benda uji tidak memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Sedangkan untuk spesifikasi dari Bina marga nilai minimum VIM (*Void in Mix*) berada pada angka 3.00% dan maksimum berada pada angka 5.00%.



Grafik 4. 8 Nilai VIM Pada Variasi Abu Sekam 2% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

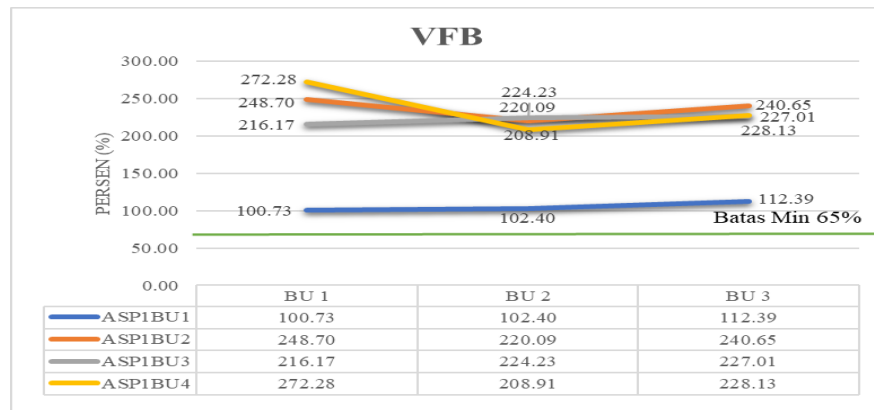
Pada grafik 4.9 nilai VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) yang dihasilkan campuran Abu Sekam dengan kadar 2% dengan Abu Arang Kayu dengan kadar 0%, 1%, 2%, dan 3%, memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) yaitu 21,29%, 21,30%, 22,24%, dan 21,55%. Untuk nilai spesifikasi VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) dari Bina Marga yaitu minimum dengan angka 15,00%.



Grafik 4. 9 Nilai VMA Pada Variasi Abu Sekam 2% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

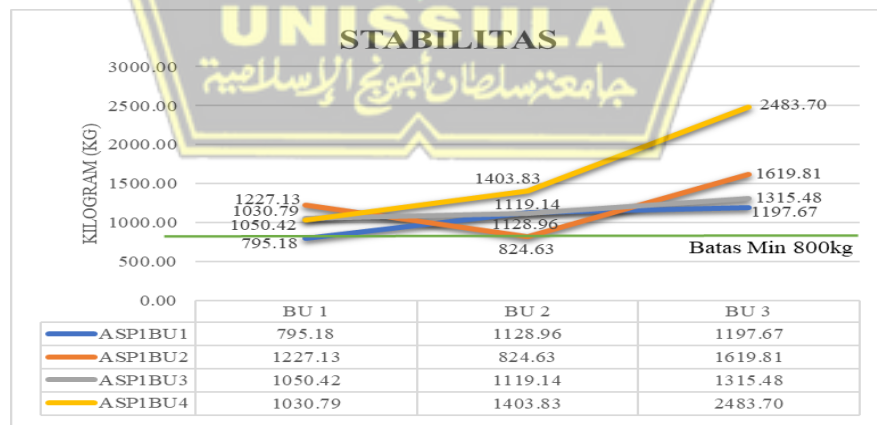
Pada grafik 4.10 nilai VFB (*Void Filled with Bitumen*) yang dihasilkan campuran Abu Sekam dengan kadar 2% dan Abu Arang Kayu dengan kadar 0%, 1%, 2%, dan 3%, memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata VFB (*Void Filled with Bitumen*) yaitu 105,17%, 236,48%, 222,47%, dan 236,44%. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Spesifikasi minimum untuk VFB menurut Bina Marga adalah 65%. Dengan hasil rata-rata yang jauh di atas nilai minimum tersebut.(Putra & Fidausi, 2019)



Grafik 4. 10 Nilai VFB Pada Variasi Abu Sekam 2% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

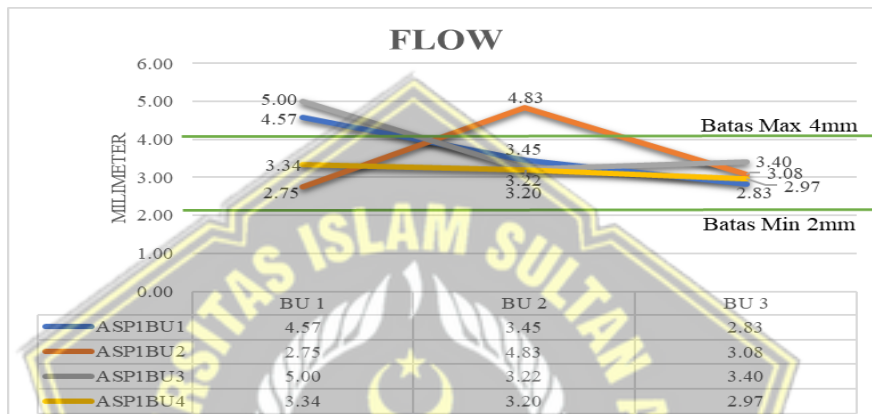
Pada grafik 4.11 nilai Stabilitas yang dihasilkan campuran Abu Sekam 2% dengan bahan tambah Abu Arang Kayu dengan kadar 0%, 1%, 2%, dan 3% memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata stabilitas yaitu 1040,60 kg, 1223,85 kg, 1161,68 kg, dan 1639,44 kg. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Adapun nilai spesifikasi minimum untuk stabilitas menurut Bina Marga adalah 800 kg. Dengan demikian, semua nilai stabilitas yang dihasilkan dari percobaan ini tidak hanya memenuhi, tetapi sudah cukup melampaui batas minimum yang ditentukan.



Grafik 4. 11 Nilai Stabilitas Pada Variasi Abu Sekam 0% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

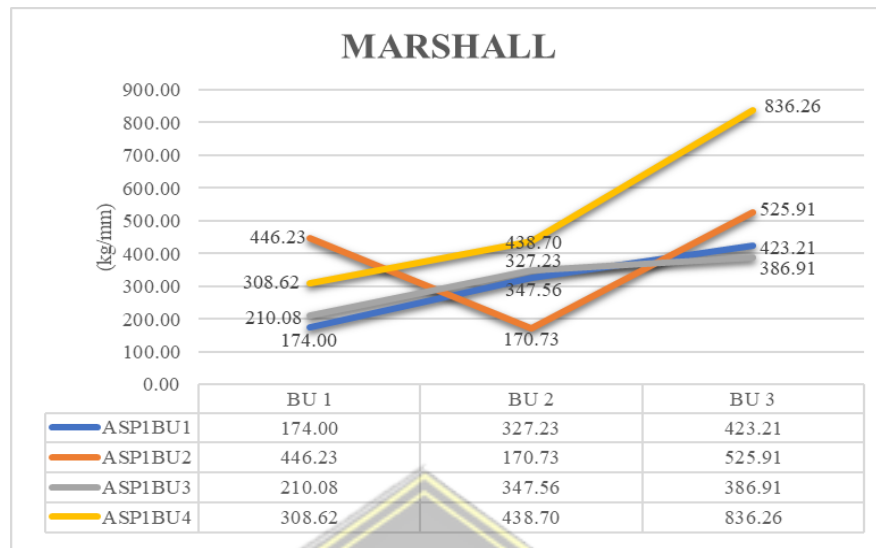
Pada grafik 4.12 nilai *flow* yang dihasilkan campuran Abu Sekam 2% dengan bahan tambah Abu Arang Kayu dengan kadar 0%, 1%, 2%, dan 3% memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata *flow* yaitu 3,62 milimeter, 3,55 milimeter, 3,87 milimeter, dan 3,17 milimeter. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi *flow* dari Bina Marga yaitu minimum dengan angka 2,00 milimeter dan untuk nilai maksimum dengan angka 4,00 milimeter.



Grafik 4. 12 Nilai *Flow* Pada Variasi Abu Sekam 2% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.13 nilai *Marshall Quotient* yang dihasilkan campuran Abu Sekam dengan kadar 2% dan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3% memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata *Marshall Quotient* yaitu 287,72 milimeter, 344,42 milimeter, 299,92 milimeter, dan 517,17 milimeter. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi nilai *Marshall Quotient* dari Bina marga belum ada.



Grafik 4.13 Nilai *Marshall Quotient* Pada Variasi Abu Sekam 2% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Hasil komposisi campuran Abu Sekam dengan kadar 2% dan bahan tambah Abu Arang Kayu dengan kadar 0%, 1%, 2%, dan 3%, dalam kondisi tidak sesuai spesifikasi serta tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan yang dihasilkan dari parameter *Marshall Test* yang memperoleh hasil yang berbeda-beda, yang direpresentasikan secara rinci dalam Tabel Rekap.

Tabel 4. 21 Rekap Hasil Rata-Rata Komposisi Abu Sekam Padi 2% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%

Uraian	Kadar Bahan Tambah Abu Sekam	Kadar Bahan Tambah Abu Arang Kayu	Spesifikasi	Hasil Pengujian Laboratorium	Keterangan
Rongga Udara (VIM)	2%	0%	3,0 - 5,0 %	-1.06	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	2%	0%	Min 15%	21.29	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	2%	0%	Min 65%	105.17	Memenuhi
Stabilitas	2%	0%	Min 800 kg	1040.60	Memenuhi
Kelelehan Plastis / Flow	2%	0%	2,0 - 4,0	3.62	Memenuhi
Marshall Quotient	2%	0%	-	287.72	Memenuhi
Rongga Udara (VIM)	2%	1%	3,0 - 5,0 %	-28.96	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	2%	1%	Min 15%	21.30	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	2%	1%	Min 65%	236.48	Memenuhi
Stabilitas	2%	1%	Min 800 kg	1223.85	Memenuhi
Kelelehan Plastis / Flow	2%	1%	2,0 - 4,0	3.55	Memenuhi
Marshall Quotient	2%	1%	-	344.42	Memenuhi
Rongga Udara (VIM)	2%	2%	3,0 - 5,0 %	-27.22	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	2%	2%	Min 15%	22.24	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	2%	2%	Min 65%	222.47	Memenuhi
Stabilitas	2%	2%	Min 800 kg	1161.68	Memenuhi
Kelelehan Plastis / Flow	2%	2%	2,0 - 4,0	3.87	Memenuhi
Marshall Quotient	2%	2%	-	299.92	Memenuhi
Rongga Udara (VIM)	2%	3%	3,0 - 5,0 %	-28.91	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	2%	3%	Min 15%	21.55	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	2%	3%	Min 65%	236.44	Memenuhi
Stabilitas	2%	3%	Min 800 kg	1639.44	Memenuhi
Kelelehan Plastis / Flow	2%	3%	2,0 - 4,0	3.17	Memenuhi
Marshall Quotient	2%	3%	-	517.17	Memenuhi

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

4.7.3. Hasil *Marshall Test* Benda Uji Kombinasi Abu Sekam Padi (*rice husk ash*) 4% Dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

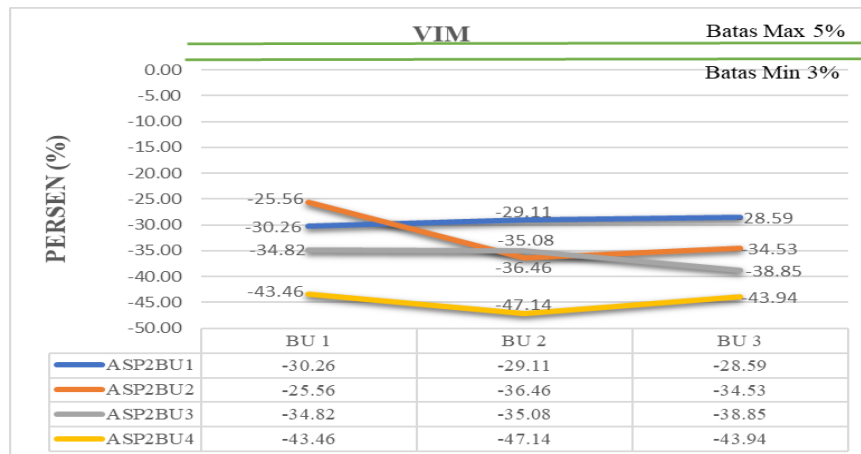
Hasil pengujian *marshall* untuk benda uji dengan komposisi modifikasi Abu Sekam Padi 4% dengan Abu Arang Kayu kadar 0%, 1%, 2% dan 3% dengan jumlah tiga benda uji setiap komposisi. Nilai *Marshall* yang diperoleh dari masing-masing komposisi dapat dilihat secara rinci pada Tabel 4.22. Tabel ini menyajikan informasi penting mengenai parameter-parameter seperti VMA, VIM, VFB, stabilitas, *flow*, dan nilai *Marshall Quotient*, yang merupakan indikator kunci dalam mengevaluasi performa campuran.

Tabel 4. 22 Hasil *Marshall* Komposisi Abu Sekam 4% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3

BJ Aspal (T) : 1.035		BJ Efektif Total Agregat (Gse) : 2.629				BJ Total Agg (Gsb) : 2.749		Kalibrasi Proving Ring : 9.817 Kg					
no	kadar	berat	berat	berat	volume/	bj. Bulk	bj. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		kelelahan
benda	aspal	di udara	dlm air	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	plastis
uji							camp. Agg	agg (vma)	camp (vim)	aspal (vfb)	arloji	sesuaikan	(flow)
	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
	% berat	data	data	data				100 -	100 -	$\frac{100(i-j)}{i}$			
	total	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	$\frac{(100-b)g}{gsb}$	$\frac{(100*j)g}{h}$	i			m / n
	campuran							gsb	h				
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)
ASP2BU1 (1)	5.8	1199.0	686.8	1213.2	526.4	2.278	1.749	21.95	-30.26	237.86	110	1079.87	3.45
ASP2BU1 (2)	5.8	1132.0	651.0	1152.4	501.4	2.258	1.749	22.64	-29.11	228.60	98	962.07	2.10
ASP2BU1 (3)	5.8	1163.0	662.2	1179.4	517.2	2.249	1.749	22.95	-28.59	224.62	278	2729.13	2.38
Rata-rata	5.8					2.261	1.749	22.51	-29.32	230.36	162.00	1590.35	2.64
ASP2BU2 (1)	5.8	1123.0	703.8	1231.8	528.0	2.127	1.694	27.12	-25.56	194.24	129	1266.39	3.40
ASP2BU2 (2)	5.8	1160.0	669.2	1171.0	501.8	2.312	1.694	20.79	-36.46	275.43	107	1050.42	3.22
ASP2BU2 (3)	5.8	1160.0	664.6	1173.6	509.0	2.279	1.694	21.91	-34.53	257.64	236	2316.81	3.07
Rata-rata	5.8					2.239	1.694	23.27	-32.18	242.44	157.33	1544.54	3.23
ASP2BU3 (1)	5.8	1172.0	660.8	1182.4	521.6	2.247	1.667	23.00	-34.82	251.35	121	1187.86	2.40
ASP2BU3 (2)	5.8	1168.0	661.0	1179.8	518.8	2.251	1.667	22.85	-35.08	253.51	77	755.91	3.22
ASP2BU3 (3)	5.8	1158.0	661.4	1161.8	500.4	2.314	1.667	20.70	-38.85	287.67	270	2650.59	3.10
Rata-rata	5.8					2.271	1.667	22.19	-36.25	264.17	156.00	1531.45	2.91
ASP2BU4 (1)	5.8	1165.0	672.2	1174.6	502.4	2.319	1.616	20.54	-43.46	311.57	98	962.07	2.07
ASP2BU4 (2)	5.8	1194.0	695.8	1197.8	502.0	2.378	1.616	18.50	-47.14	354.88	158	1551.09	4.21
ASP2BU4 (3)	5.8	1161.0	669.6	1168.6	499.0	2.327	1.616	20.27	-43.94	316.73	170	1668.89	2.05
Rata-rata	5.8					2.341	1.616	19.77	-44.85	327.73	142.00	1394.01	2.78

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

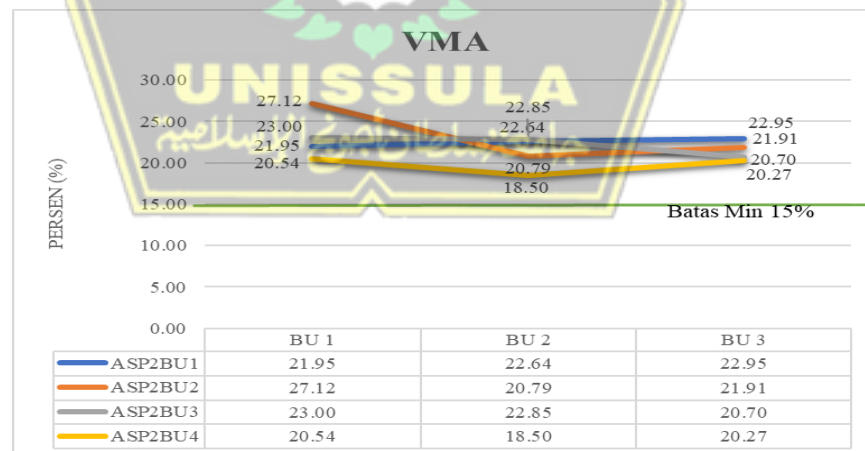
Dari Tabel 4.22 diperoleh nilai hasil dari parameter *Marshall Test* mendapatkan hasil yang bervariasi sesuai dengan campuran Abu Sekam dan Abu Arang Kayu. Dan pada Grafik 4.14 nilai VIM (*Void in Mix*) campuran Abu Sekam kadar 4% dengan Abu Arang Kayu kadar 0%, 1%, 2%, dan 3%, tidak memenuhi spesifikasi dengan hasil rata-rata Rongga Udara (VIM) adalah -29,32%, -32,18%, -36,25%, dan -44,85%. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji tidak memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Sedangkan untuk spesifikasi dari Bina marga nilai minimum VIM (*Void in Mix*) berada pada angka 3.00% dan maksimum berada pada angka 5.00%.



Grafik 4. 14 Nilai VIM Pada Variasi Abu Sekam 4% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

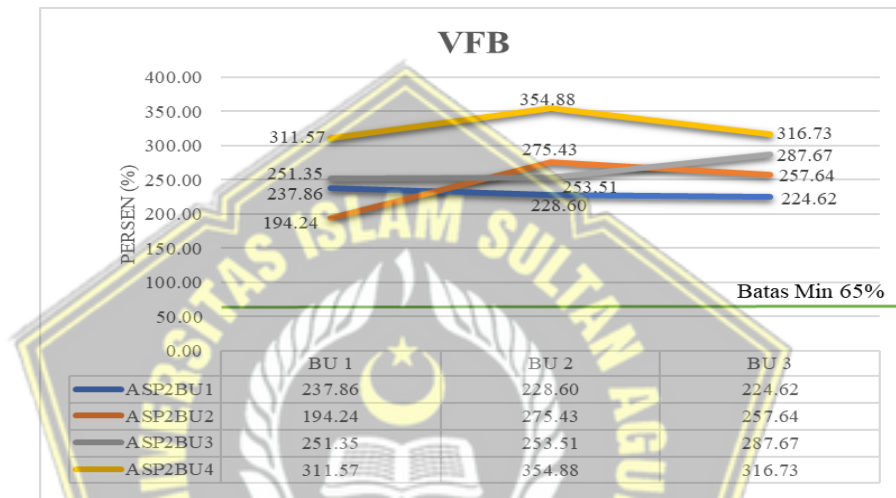
Pada grafik 4.15 nilai VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) yang dihasilkan campuran Abu Sekam dengan kadar 4% dengan Abu Arang Kayu dengan kadar 0%, 1%, 2%, dan 3%, memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) yaitu 22,51%, 23,27%, 22,19%, dan 19,77%. Untuk nilai spesifikasi VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) dari Bina Marga yaitu minimum dengan angka 15,00%.



Grafik 4. 15 Nilai VMA Pada Variasi Abu Sekam 4% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

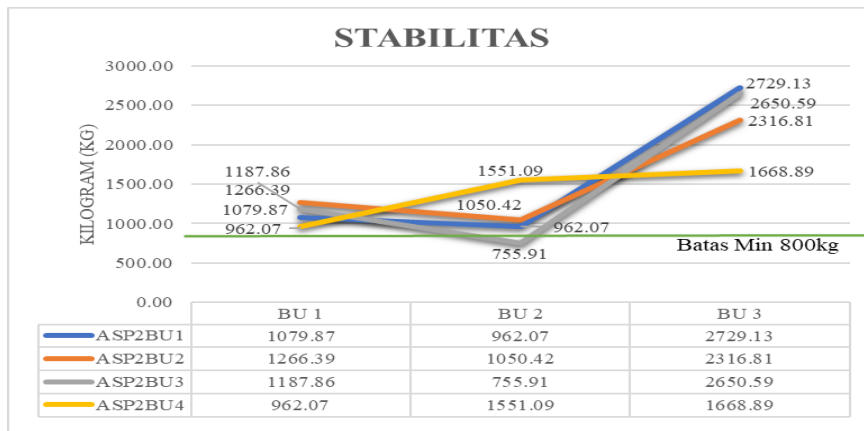
Pada grafik 4.16 nilai VFB (*Void Filled with Bitumen*) yang dihasilkan campuran Abu Sekam dengan kadar 4% dan Abu Arang Kayu dengan kadar 0%, 1%, 2%, dan 3%, memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata VFB (*Void Filled with Bitumen*) yaitu 230,36%, 242,44%, 264,17% dan 327,73%. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Spesifikasi minimum untuk VFB menurut Bina Marga adalah 65%. Dengan hasil rata-rata yang jauh di atas nilai minimum tersebut.



Grafik 4. 16 Nilai VFB Pada Variasi Abu Sekam 4% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

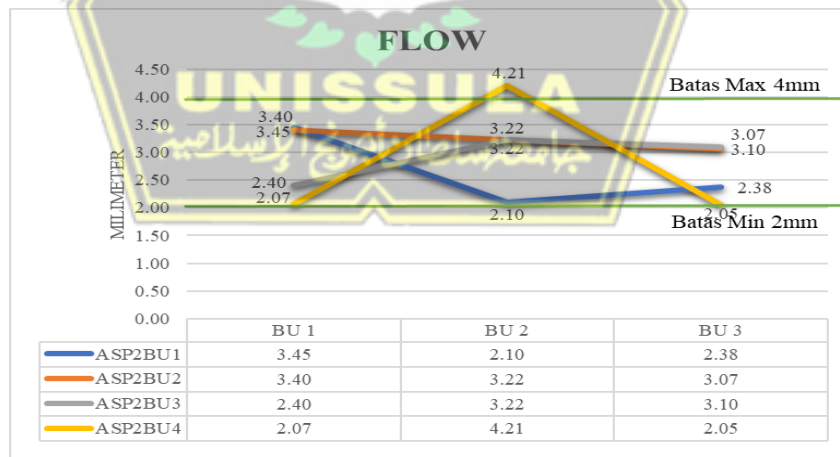
Pada grafik 4.17 nilai Stabilitas yang dihasilkan campuran Abu Sekam 4% dengan bahan tambah Abu Arang Kayu dengan kadar 0%, 1%, 2%, dan 3% memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata stabilitas yaitu 1590,35 kg, 1544,54 kg, 1531,45 kg, dan 1394,01 kg. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Adapun nilai spesifikasi minimum untuk stabilitas menurut Bina Marga adalah 800 kg. Dengan demikian, semua nilai stabilitas yang dihasilkan dari percobaan ini tidak hanya memenuhi, tetapi sudah cukup melampaui batas minimum yang ditentukan.



Grafik 4. 17 Nilai Stabilitas Pada Variasi Abu Sekam 4% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

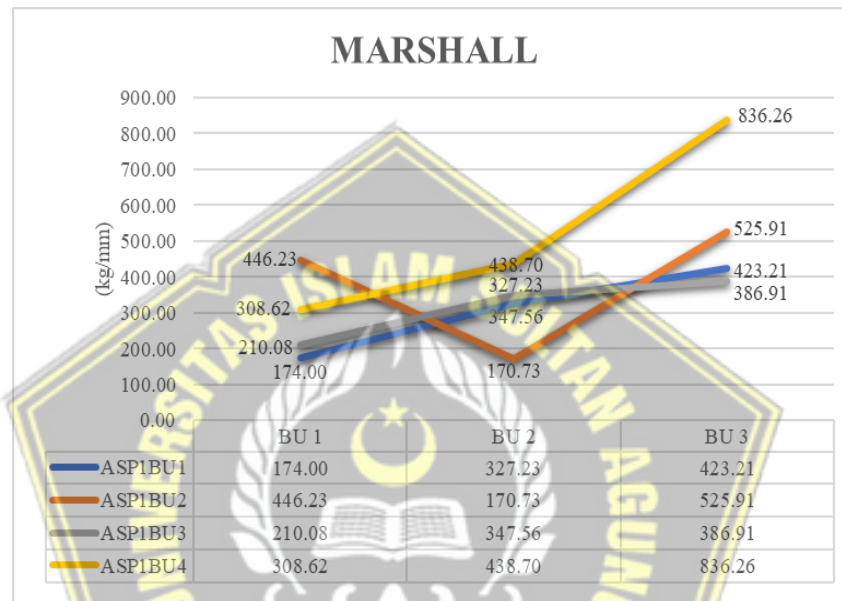
Pada grafik 4.18 nilai *flow* yang dihasilkan campuran Abu Sekam 4% dengan bahan tambah Abu Arang Kayu dengan kadar 0%, 1%, 2%, dan 3% memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata *flow* yaitu 2,64 milimeter, 3,23 milimeter, 2,91 milimeter, dan 2,78 milimeter. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi *flow* dari Bina Marga yaitu minimum dengan angka 2,00 milimeter dan untuk nilai maksimum dengan angka 4,00 milimeter.



Grafik 4. 18 Nilai *Flow* Pada Variasi Abu Sekam 4% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.19 nilai *Marshall Quotient* yang dihasilkan campuran Abu Sekam dengan kadar 4% dan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3% memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata *Marshall Quotient* yaitu 601,65 milimeter, 478,19 milimeter, 526,88 milimeter, dan 502,05 milimeter. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi nilai *Marshall Quotient* dari Bina marga belum ada.



Grafik 4. 19 Nilai *Marshall Quotient* Pada Variasi Abu Sekam 4% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Hasil komposisi campuran Abu Sekam dengan kadar 4% dengan bahan tambah Abu Arang Kayu dengan kadar 0%, 1%, dan 2%, dan 3% dalam kondisi tidak sesuai spesifikasi dan tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan. dari hasil parameter *Marshall Test* yang memperoleh hasil yang berbeda-beda, yang direpresentasikan secara rinci dalam Tabel 4.23 Tabel tersebut menyajikan data yang menggambarkan parameter-parameter penting seperti VMA, VIM, VFB. stabilitas, *flow*, dan nilai *Marshall Quotient*, yang semuanya merupakan indikator kunci dalam menentukan kualitas dan daya dukung campuran.

Tabel 4. 23 Rekap Hasil Rata-Rata Komposisi Abu Sekam Padi 4% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Uraian	Kadar Bahan Tambah Abu Sekam	Kadar Bahan Tambah Abu Arang Kayu	Spesifikasi	Hasil Pengujian Laboratorium	Keterangan
Rongga Udara (VIM)	4%	0%	3,0 - 5,0 %	-29.32	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	4%	0%	Min 15%	22.51	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	4%	0%	Min 65%	230.36	Memenuhi
Stabilitas	4%	0%	Min 800 kg	1590.35	Memenuhi
Kelelehan Plastis / Flow	4%	0%	2,0 - 4,0	2.64	Memenuhi
Marshall Quotient	4%	0%	-	601.65	Memenuhi
Rongga Udara (VIM)	4%	1%	3,0 - 5,0 %	-32.18	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	4%	1%	Min 15%	23.27	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	4%	1%	Min 65%	242.44	Memenuhi
Stabilitas	4%	1%	Min 800 kg	1544.54	Memenuhi
Kelelehan Plastis / Flow	4%	1%	2,0 - 4,0	3.23	Memenuhi
Marshall Quotient	4%	1%	-	478.19	Memenuhi
Rongga Udara (VIM)	4%	2%	3,0 - 5,0 %	-36.25	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	4%	2%	Min 15%	22.19	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	4%	2%	Min 65%	264.17	Memenuhi
Stabilitas	4%	2%	Min 800 kg	1531.45	Memenuhi
Kelelehan Plastis / Flow	4%	2%	2,0 - 4,0	2.91	Memenuhi
Marshall Quotient	4%	2%	-	526.88	Memenuhi
Rongga Udara (VIM)	4%	3%	3,0 - 5,0 %	-44.85	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	4%	3%	Min 15%	19.77	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	4%	3%	Min 65%	327.73	Memenuhi
Stabilitas	4%	3%	Min 800 kg	1394.01	Memenuhi
Kelelehan Plastis / Flow	4%	3%	2,0 - 4,0	2.78	Memenuhi
Marshall Quotient	4%	3%	-	502,05	Memenuhi

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

4.7.4. Hasil *Marshall Test* Benda Uji Kombinasi Abu Sekam Padi (*rice husk ash*) 6% Dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

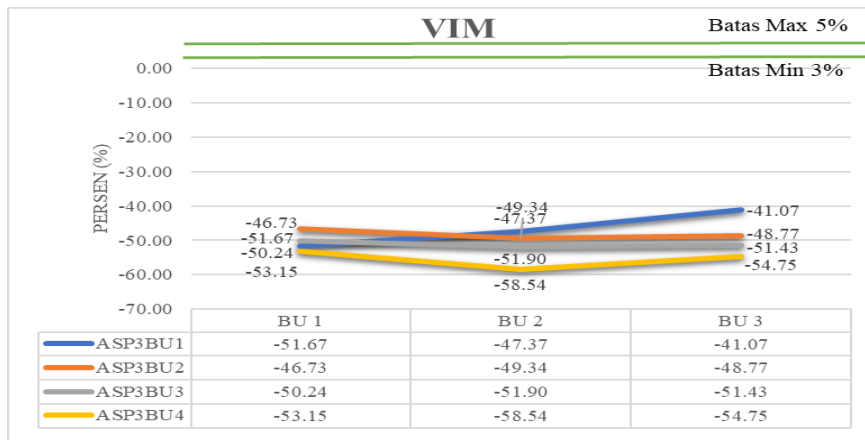
Hasil pengujian *marshall* untuk benda uji dengan komposisi modifikasi Abu Sekam Padi 6% dengan Abu Arang Kayu kadar 0%, 1%, 2% dan 3% dengan jumlah tiga benda uji setiap komposisi. Nilai *Marshall* yang diperoleh dari masing-masing komposisi dapat dilihat secara rinci pada Tabel 4.24. Tabel ini menyajikan informasi penting mengenai parameter-parameter seperti VMA, VIM, VFB, stabilitas, *flow*, dan nilai *Marshall Quotient*, yang merupakan indikator kunci dalam mengevaluasi performa campuran.

Tabel 4. 24 Hasil *Marshall* Komposisi Abu Sekam 6% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%

BJ Aspal (T) : 1.035		BJ Efektif Total Agregat (Gse) : 2.629				BJ Total Agg (Gsb) : 2.749		Kalibrasi Proving Ring : 9.817 Kg						
no	kadar	berat	berat	berat	volume/	bj. Bulk	bj. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		kelelahan	hasil bagi
benda	aspal	di udara	di air	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	plastis	marshall
uji							camp. Agg	agg (vma)	camp (vim)	aspal (vfb)	arloji	sesuaikan	(flow)	(mq)
	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
	% berat	data	data	data				100 -	100 -	100 (i - j)				
	total	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	(100 - b) g	(100 * g)	i				m / n
	campuran							gsb	h					
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg / mm)
ASP3BU1 (1)	5.8	1171.0	679.8	1167.0	487.2	2.404	1.585	17.64	-51.67	392.95	75	736.28	6.50	113.27
ASP3BU1 (2)	5.8	1149.0	663.6	1155.6	492.0	2.335	1.585	19.97	-47.37	337.16	113	1109.32	5.42	204.67
ASP3BU1 (3)	5.8	1162.0	665.4	1185.2	519.8	2.235	1.585	23.40	-41.07	275.52	182	1786.69	4.28	417.45
Rata-rata	5.8					2.325	1.585	20.34	-46.70	335.21	123.33	1210.76	5.40	224.22
ASP3BU2 (1)	5.8	1167.0	672.8	1178.4	505.6	2.308	1.573	20.91	-46.73	323.53	106	1040.60	3.77	276.02
ASP3BU2 (2)	5.8	1168.0	677.8	1175.0	497.2	2.349	1.573	19.50	-49.34	353.00	113	1109.32	4.58	242.21
ASP3BU2 (3)	5.8	1171.0	678.4	1178.8	500.4	2.340	1.573	19.81	-48.77	346.15	118	1158.41	2.45	472.82
Rata-rata	5.8					2.332	1.573	20.07	-48.28	340.90	112.33	1102.78	3.60	306.33
ASP3BU3 (1)	5.8	1148.0	667.2	1161.8	494.6	2.321	1.545	20.46	-50.24	345.49	113	1109.32	3.38	328.20
ASP3BU3 (2)	5.8	1187.0	687.2	1193.0	505.8	2.347	1.545	19.58	-51.90	365.03	154	1511.82	2.70	559.93
ASP3BU3 (3)	5.8	1195.0	694.2	1205.0	510.8	2.339	1.545	19.83	-51.43	359.30	165	1619.81	2.98	543.56
Rata-rata	5.8					2.336	1.545	19.96	-51.19	356.60	144.00	1413.65	3.02	468.10
ASP3BU4 (1)	5.8	1165.0	665.4	1177.8	512.4	2.274	1.485	22.09	-53.15	340.59	172	1688.52	2.40	703.55
ASP3BU4 (2)	5.8	1166.0	675.2	1170.6	495.4	2.354	1.485	19.35	-58.54	402.57	158	1551.09	5.45	284.60
ASP3BU4 (3)	5.8	1162.0	666.8	1172.6	505.8	2.297	1.485	21.28	-54.75	357.31	162	1590.35	2.39	665.42
Rata-rata	5.8					2.308	1.485	20.90	-55.48	366.82	164.00	1609.99	3.41	471.68

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

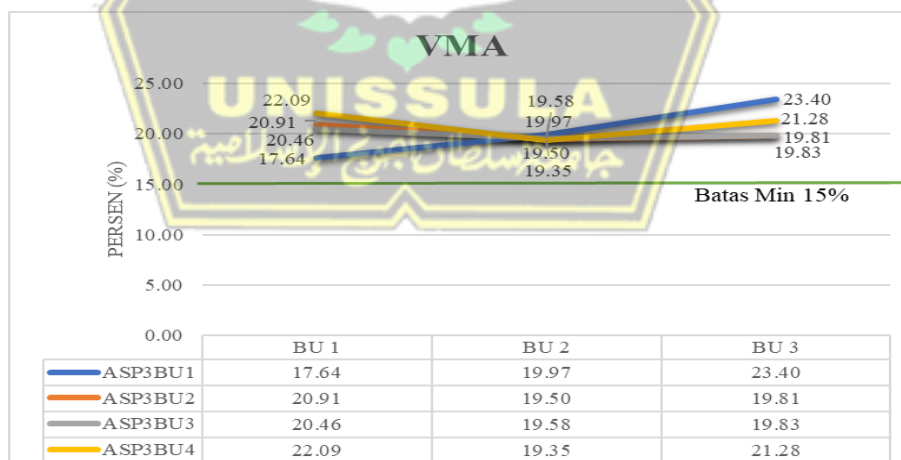
Dari Tabel 4.24 diperoleh nilai hasil dari parameter *Marshall Test* mendapatkan hasil yang bervariasi sesuai dengan campuran Abu Sekam dan Abu Arang Kayu. Dan pada Grafik 4.20 nilai VIM (*Void in Mix*) campuran Abu Sekam kadar 6% dengan Abu Arang Kayu kadar 0%, 1%, 2%, dan 3%, tidak memenuhi spesifikasi dengan hasil rata-rata Rongga Udara (VIM) adalah -46,70%, -48,28%, -51,19%, dan -55,48%. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji tidak memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Sedangkan untuk spesifikasi dari Bina marga nilai minimum VIM (*Void in Mix*) berada pada angka 3.00% dan maksimum berada pada angka 5.00%.



Grafik 4. 20 Nilai VIM Pada Variasi Abu Sekam 6% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

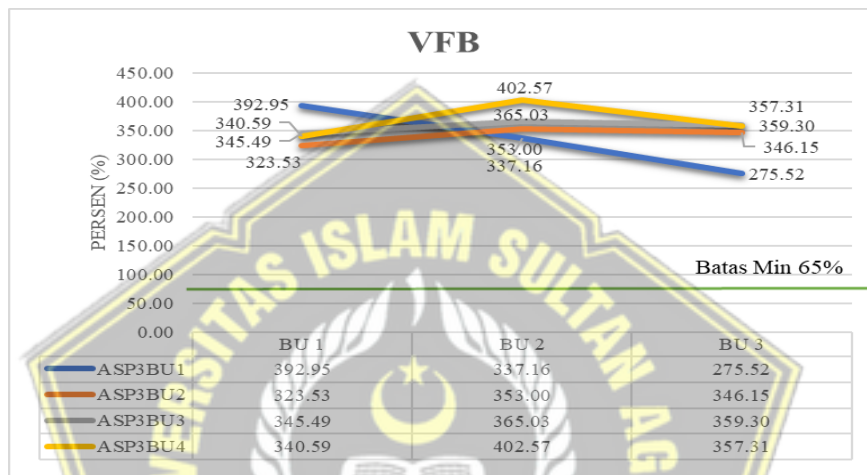
Pada grafik 4.21 nilai VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) yang dihasilkan campuran Abu Sekam dengan kadar 6% dengan Abu Arang Kayu dengan kadar 0%, 1%, 2%, dan 3%, memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) yaitu 20,34%, 20,07%, 19,96%, dan 20,90%. Untuk nilai spesifikasi VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) dari Bina Marga yaitu minimum dengan angka 15,00%.



Grafik 4. 21 VMA untuk Komposisi Abu Sekam 6% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

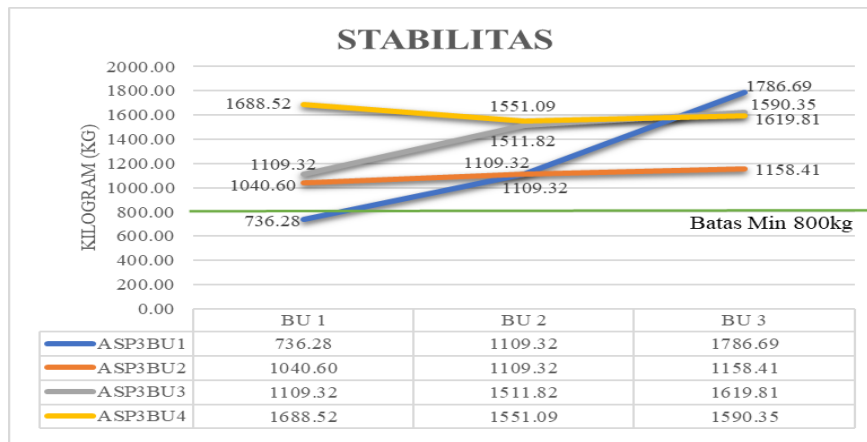
Pada grafik 4.22 nilai VFB (*Void Filled with Bitumen*) yang dihasilkan campuran Abu Sekam dengan kadar 6% dan Abu Arang Kayu dengan kadar 0%, 1%, 2%, dan 3%, memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata VFB (*Void Filled with Bitumen*) yaitu 335,21%, 340,90%, 356,60% dan 366,82%. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Spesifikasi minimum untuk VFB menurut Bina Marga adalah 65%. Dengan hasil rata-rata yang jauh di atas nilai minimum tersebut.



Grafik 4. 22 Nilai VFB Pada Variasi Abu Sekam 6% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

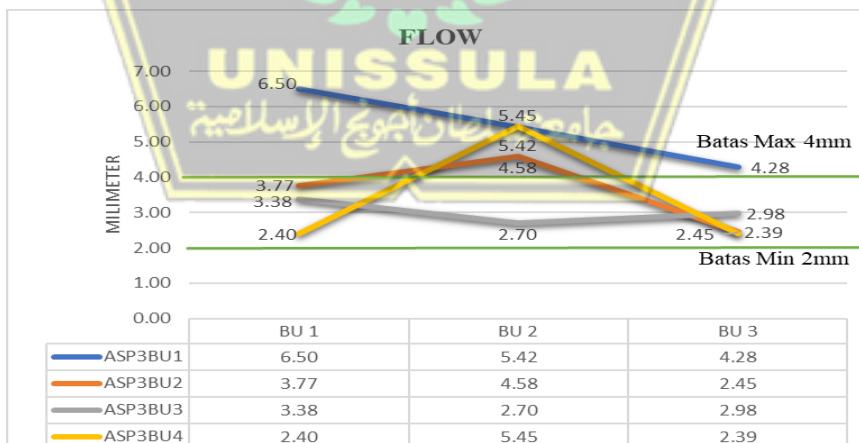
Pada grafik 4.23 nilai Stabilitas yang dihasilkan campuran Abu Sekam 6% dengan bahan tambah Abu Arang Kayu dengan kadar 0%, 1%, 2%, dan 3% memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata stabilitas yaitu 1210,76 kg, 1102,78 kg, 1413,65 kg, dan 1609,99 kg. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Adapun nilai spesifikasi minimum untuk stabilitas menurut Bina Marga adalah 800 kg. Dengan demikian, semua nilai stabilitas yang dihasilkan dari percobaan ini tidak hanya memenuhi, tetapi sudah cukup melampaui batas minimum yang ditentukan.



Grafik 4. 23 Nilai Stabilitas Pada Variasi Abu Sekam 6% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

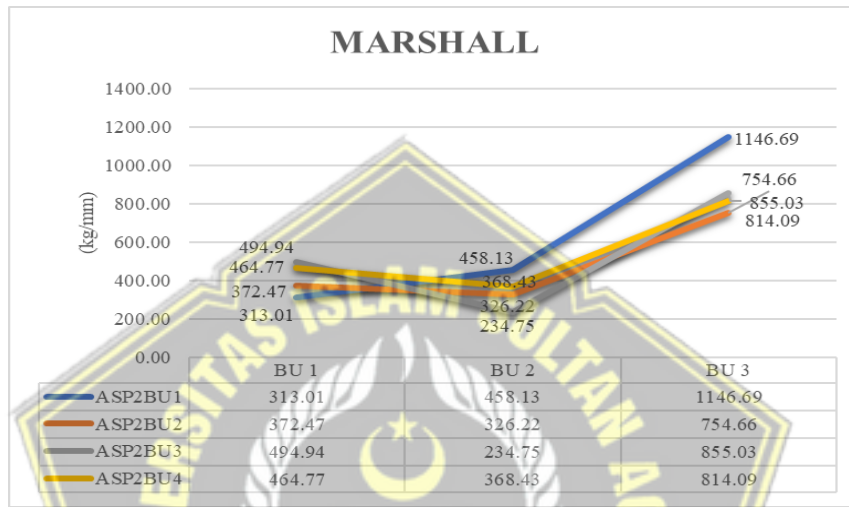
Pada grafik 4.24 nilai *flow* yang dihasilkan campuran Abu Sekam 6% dengan bahan tambah Abu Arang Kayu dengan kadar 0%, 1%, 2%, dan 3%, Pada benda uji ASP3BU2, ASP3BU3, dan ASP3BU4 memenuhi spesifikasi dengan hasil rata-rata *flow* adalah 3,60 milimeter, 3,02 milimeter, dan 3,41 milimeter dan untuk ASP3BU1 tidak memenuhi spesifikasi dengan hasil rata-rata *flow* adalah 5,40 milimeter. Untuk nilai spesifikasi *flow* dari Bina Marga yaitu minimum dengan angka 2,00 milimeter dan untuk nilai maksimum dengan angka 4,00 milimeter.



Grafik 4. 24 Nilai *Flow* Pada Variasi Abu Sekam 6% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.25 nilai *Marshall Quotient* yang dihasilkan campuran Abu Sekam dengan kadar 6% dan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3% memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata *Marshall Quotient* yaitu 224,22 milimeter, 306,33 milimeter, 468,10 milimeter, dan 471,68 milimeter. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi nilai *Marshall Quotient* dari Bina marga belum ada.



Grafik 4. 25 Nilai Marshall Quotient Pada Variasi Abu Sekam 6% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Hasil komposisi campuran Abu Sekam dengan kadar 6% dengan bahan tambah Abu Arang Kayu dengan kadar 0%, 1%, dan 2%, dan 3% dalam kondisi tidak sesuai spesifikasi dan tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan. dari hasil parameter *Marshall Test* yang memperoleh hasil yang berbeda-beda, yang direpresentasikan secara rinci dalam Tabel 4.25 Tabel tersebut menyajikan data yang menggambarkan parameter-parameter penting seperti VMA, VIM, VFB. stabilitas, *flow*, dan nilai *Marshall Quotient*, yang semuanya merupakan indikator kunci dalam menentukan kualitas dan daya dukung campuran.

Tabel 4. 25 Rekap Hasil Rata-Rata Komposisi Abu Sekam Padi 6% dengan Abu Arang Kayu 0%, 1%, 2%, dan 3%.

Uraian	Kadar Bahan Tambah Abu Sekam	Kadar Bahan Tambah Abu Arang Kayu	Spesifikasi	Hasil Pengujian Laboratorium	Keterangan
Rongga Udara (VIM)	6%	0%	3,0 - 5,0 %	-46.70	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	6%	0%	Min 15%	20.34	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	6%	0%	Min 65%	335.21	Memenuhi
Stabilitas	6%	0%	Min 800 kg	1210.76	Memenuhi
Kelelahan Plastis / Flow	6%	0%	2,0 - 4,0	5.40	Tidak Memenuhi
Marshall Quotient	6%	0%	-	224.22	Memenuhi
Rongga Udara (VIM)	6%	1%	3,0 - 5,0 %	-48.28	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	6%	1%	Min 15%	20.07	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	6%	1%	Min 65%	340.90	Memenuhi
Stabilitas	6%	1%	Min 800 kg	1102.78	Memenuhi
Kelelahan Plastis / Flow	6%	1%	2,0 - 4,0	3.60	Memenuhi
Marshall Quotient	6%	1%	-	306.33	Memenuhi
Rongga Udara (VIM)	6%	2%	3,0 - 5,0 %	-51.19	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	6%	2%	Min 15%	19.96	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	6%	2%	Min 65%	356.60	Memenuhi
Stabilitas	6%	2%	Min 800 kg	1413.65	Memenuhi
Kelelahan Plastis / Flow	6%	2%	2,0 - 4,0	3.02	Memenuhi
Marshall Quotient	6%	2%	-	468.10	Memenuhi
Rongga Udara (VIM)	6%	3%	3,0 - 5,0 %	-55.48	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	6%	3%	Min 15%	20.90	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	6%	3%	Min 65%	366.82	Memenuhi
Stabilitas	6%	3%	Min 800 kg	1609.99	Memenuhi
Kelelahan Plastis / Flow	6%	3%	2,0 - 4,0	3.41	Memenuhi
Marshall Quotient	6%	3%	-	471.68	Memenuhi

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

4.7.5. Rekapitulasi Hasil Marshall Test

Tabel 4. 26 Rekapitulasi Marshall Test

BJ Aspal (T)	1.035	BJ Efektif Total Agregat (Gse) :2.629				BJ Total Agg (Gsb) :		2.749	Kalibrasi Proving Ring :			9.817 Kg		
no	kadar	berat	berat	berat	volume/	bj. Bulk	bj. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		kelelahan	hasil bagi
benda	aspal	di udara	dlm air	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	plastis	marshall
uji							camp. Agg	agg.(vma)	camp(vim)	aspal(vfb)	arloji	sesuaikan	(flow)	(mq)
	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
	% berat	data	data	data				100 -	100 -	$\frac{100(i-j)}{i}$				
	total	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	$\frac{(100-b)g}{h}$	$\frac{(100-g)}{h}$	i				m / n
	campuran							gsb	h					
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
ASP0BU1 (1)	5.8	1124.2	648.8	1135.4	486.6	2.310	2.491	20.83	7.27	65.10	118	1158.41	3.20	362.00
ASP0BU1 (2)	5.8	1127.4	655.8	1139.6	483.8	2.330	2.491	20.15	6.47	67.90	70	687.19	3.83	179.42
ASP0BU1 (3)	5.8	1121.0	626.0	1130.4	504.4	2.222	2.491	23.84	10.80	54.72	205	2012.49	2.20	914.77
Rata-rata	5.8					2.288	2.491	21.61	8.18	62.57	131.00	1286.03	3.08	417.99
ASP0BU2 (1)	5.8	1164.0	674.8	1177.6	502.8	2.315	2.437	20.67	5.01	75.77	99	971.88	3.40	285.85
ASP0BU2 (2)	5.8	1192.0	692.6	1202.0	509.4	2.340	2.437	19.81	3.98	79.89	87	854.08	3.48	245.43
ASP0BU2 (3)	5.8	1160.0	666.8	1169.2	502.4	2.309	2.437	20.88	5.26	74.81	209	2051.75	3.50	586.22
Rata-rata	5.8					2.321	2.437	20.46	4.75	76.82	131.67	1292.57	3.46	373.58
ASP0BU3 (1)	5.8	1162.0	669.2	1173.8	504.6	2.303	2.358	21.09	2.36	88.81	86	844.26	3.14	268.87
ASP0BU3 (2)	5.8	1138.0	658.2	1149.8	-508.4	-2.238	2.358	176.70	194.91	-10.30	66	647.92	4.33	149.64
ASP0BU3 (3)	5.8	1130.0	652.4	1139.0	486.6	2.322	2.358	20.42	1.54	92.47	193	1894.68	3.37	562.22
Rata-rata	5.8					0.796	2.358	72.74	66.27	56.99	115.00	1128.96	3.61	312.44
ASP0BU4 (1)	5.8	1162.0	668.4	1178.0	509.6	2.280	2.287	21.86	0.30	98.63	114	1119.14	3.79	295.29
ASP0BU4 (2)	5.8	1221.0	709.2	1223.8	514.6	2.373	2.287	18.69	-3.74	120.03	145	1423.47	4.43	321.32
ASP0BU4 (3)	5.8	1157.0	667.4	1169.6	502.2	2.304	2.287	21.05	-0.73	103.49	150	1472.55	3.18	463.07
Rata-rata	5.8					2.319	2.287	20.54	-1.39	107.38	136.33	1338.38	3.80	352.21

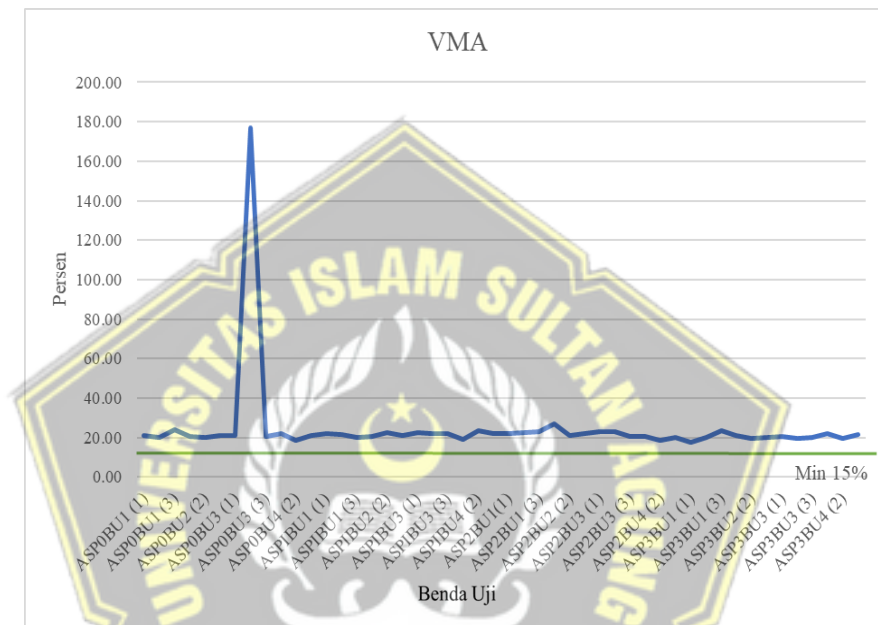
ASPIBU1 (1)	5.8	1130.0	647.4	1143.8	496.4	2.276	2.273	21.99	-0.16	100.73	81	795.18	4.57	174.00
ASPIBU1 (2)	5.8	1177.0	672.4	1187.6	515.2	2.285	2.273	21.72	-0.52	102.40	115	1128.96	3.45	327.23
ASPIBU1 (3)	5.8	1141.0	656.0	1145.8	489.8	2.330	2.273	20.17	-2.50	112.39	122	1197.67	2.83	423.21
Rata-rata	5.8					2.297	2.273	21.29	-1.06	105.17	106.00	1040.60	3.62	287.72
ASPIBU2 (1)	5.8	1181.0	678.4	1187.0	508.6	2.322	1.781	20.43	-30.38	248.70	125	1227.13	2.75	446.23
ASPIBU2 (2)	5.8	1150.0	658.4	1166.8	508.4	2.262	1.781	22.49	-27.01	220.09	84	824.63	4.83	170.73
ASPIBU2 (3)	5.8	1149.0	658.2	1156.4	498.2	2.306	1.781	20.97	-29.49	240.65	165	1619.81	3.08	525.91
Rata-rata	5.8					2.297	1.781	21.30	-28.96	236.48	124.67	1223.85	3.55	344.42
ASPIBU3 (1)	5.8	1182.0	671.4	1195.6	524.2	2.255	1.784	22.73	-26.41	216.17	107	1050.42	5.00	210.08
ASPIBU3 (2)	5.8	1184.0	678.4	1199.2	520.8	2.273	1.784	22.10	-27.45	224.23	114	1119.14	3.22	347.56
ASPIBU3 (3)	5.8	1174.0	669.0	1184.0	515.0	2.280	1.784	21.88	-27.80	227.01	134	1315.48	3.40	386.91
Rata-rata	5.8					2.269	1.784	22.24	-27.22	222.47	118.33	1161.68	3.87	299.92
ASPIBU4 (1)	5.8	1194.0	695.6	1201.4	505.8	2.361	1.776	19.11	-32.92	272.28	105	1030.79	3.34	308.62
ASPIBU4 (2)	5.8	1121.0	638.6	1141.0	502.4	2.231	1.776	23.54	-25.64	208.91	143	1403.83	3.20	438.70
ASPIBU4 (3)	5.8	1171.0	671.8	1186.2	514.4	2.276	1.776	21.99	-28.18	228.13	253	2483.70	2.97	836.26
Rata-rata	5.8					2.289	1.776	21.55	-28.91	236.44	167.00	1639.44	3.17	517.17
ASP2BU1 (1)	5.8	1199.0	686.8	1213.2	526.4	2.278	1.749	21.95	-30.26	237.86	110	1079.87	3.45	313.01
ASP2BU1 (2)	5.8	1132.0	651.0	1152.4	501.4	2.258	1.749	22.64	-29.11	228.60	98	962.07	2.10	458.13
ASP2BU1 (3)	5.8	1163.0	662.2	1179.4	517.2	2.249	1.749	22.95	-28.59	224.62	278	2729.13	2.38	1146.69
Rata-rata	5.8					2.261	1.749	22.51	-29.32	230.36	162.00	1590.35	2.64	601.65
ASP2BU2 (1)	5.8	1123.0	703.8	1231.8	528.0	2.127	1.694	27.12	-25.56	194.24	129	1266.39	3.40	372.47
ASP2BU2 (2)	5.8	1160.0	669.2	1171.0	501.8	2.312	1.694	20.79	-36.46	275.43	107	1050.42	3.22	326.22
ASP2BU2 (3)	5.8	1160.0	664.6	1173.6	509.0	2.279	1.694	21.91	-34.53	257.64	236	2316.81	3.07	754.66
Rata-rata	5.8					2.239	1.694	23.27	-32.18	242.44	157.33	1544.54	3.23	478.19
ASP2BU3 (1)	5.8	1172.0	660.8	1182.4	521.6	2.247	1.667	23.00	-34.82	251.35	121	1187.86	2.40	494.94
ASP2BU3 (2)	5.8	1168.0	661.0	1179.8	518.8	2.251	1.667	22.85	-35.08	253.51	77	755.91	3.22	234.75
ASP2BU3 (3)	5.8	1158.0	661.4	1161.8	500.4	2.314	1.667	20.70	-38.85	287.67	270	2650.59	3.10	855.03
Rata-rata	5.8					2.271	1.667	22.19	-36.25	264.17	156.00	1531.45	2.91	526.88
ASP2BU4 (1)	5.8	1165.0	672.2	1174.6	502.4	2.319	1.616	20.54	-43.46	311.57	98	962.07	2.07	464.77
ASP2BU4 (2)	5.8	1194.0	695.8	1197.8	502.0	2.378	1.616	18.50	-47.14	354.88	158	1551.09	4.21	368.43
ASP2BU4 (3)	5.8	1161.0	669.6	1168.6	499.0	2.327	1.616	20.27	-43.94	316.73	170	1668.89	2.05	814.09
Rata-rata	5.8					2.341	1.616	19.77	-44.85	327.73	142.00	1394.01	2.78	502.05

ASP3BU1 (1)	5.8	1171.0	679.8	1167.0	487.2	2.404	1.585	17.64	-51.67	392.95	75	736.28	6.50	113.27
ASP3BU1 (2)	5.8	1149.0	663.6	1155.6	492.0	2.335	1.585	19.97	-47.37	337.16	113	1109.32	5.42	204.67
ASP3BU1 (3)	5.8	1162.0	665.4	1185.2	519.8	2.235	1.585	23.40	-41.07	275.52	182	1786.69	4.28	417.45
<i>Rata-rata</i>	5.8					2.325	1.585	20.34	-46.70	335.21	123.33	1210.76	5.40	224.22
ASP3BU2 (1)	5.8	1167.0	672.8	1178.4	505.6	2.308	1.573	20.91	-46.73	323.53	106	1040.60	3.77	276.02
ASP3BU2 (2)	5.8	1168.0	677.8	1175.0	497.2	2.349	1.573	19.50	-49.34	353.00	113	1109.32	4.58	242.21
ASP3BU2 (3)	5.8	1171.0	678.4	1178.8	500.4	2.340	1.573	19.81	-48.77	346.15	118	1158.41	2.45	472.82
<i>Rata-rata</i>	5.8					2.332	1.573	20.07	-48.28	340.90	112.33	1102.78	3.60	306.33
ASP3BU3 (1)	5.8	1148.0	667.2	1161.8	494.6	2.321	1.545	20.46	-50.24	345.49	113	1109.32	3.38	328.20
ASP3BU3 (2)	5.8	1187.0	687.2	1193.0	505.8	2.347	1.545	19.58	-51.90	365.03	154	1511.82	2.70	559.93
ASP3BU3 (3)	5.8	1195.0	694.2	1205.0	510.8	2.339	1.545	19.83	-51.43	359.30	165	1619.81	2.98	543.56
<i>Rata-rata</i>	5.8					2.336	1.545	19.96	-51.19	356.60	144.00	1413.65	3.02	468.10
ASP3BU4 (1)	5.8	1165.0	665.4	1177.8	512.4	2.274	1.485	22.09	-53.15	340.59	172	1688.52	2.40	703.55
ASP3BU4 (2)	5.8	1166.0	675.2	1170.6	495.4	2.354	1.485	19.35	-58.54	402.57	158	1551.09	5.45	284.60
ASP3BU4 (3)	5.8	1162.0	666.8	1172.6	505.8	2.297	1.485	21.28	-54.75	357.31	162	1590.35	2.39	665.42
<i>Rata-rata</i>	5.8					2.308	1.485	20.90	-55.48	366.82	164.00	1609.99	3.41	471.68

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

جامعة سلطان أبوبكر الإسلامية

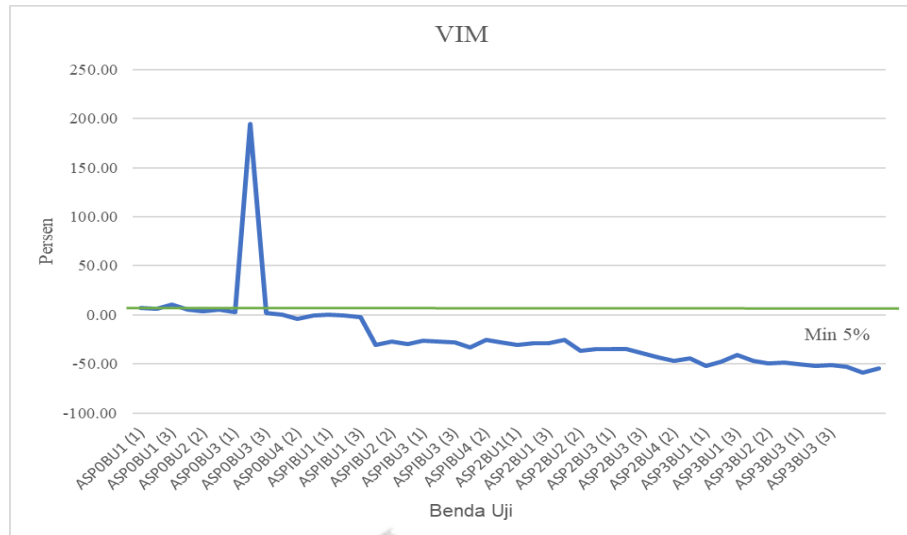
Pada Tabel 4.26 di atas, terdapat rekapitulasi yang menyajikan seluruh data hasil uji dari berbagai susunan benda uji yang telah dilakukan. Data ini dirangkum dalam format tabel dan grafik agar informasi lebih mudah dipahami dan dianalisis, serta memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai hasil pengujian yang telah dilakukan. Hal ini dilakukan berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, sebagai pedoman untuk penyajian dan analisis data pengujian dalam proyek konstruksi jalan.



Grafik 4. 26 Rekapitulasi Nilai VMA

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

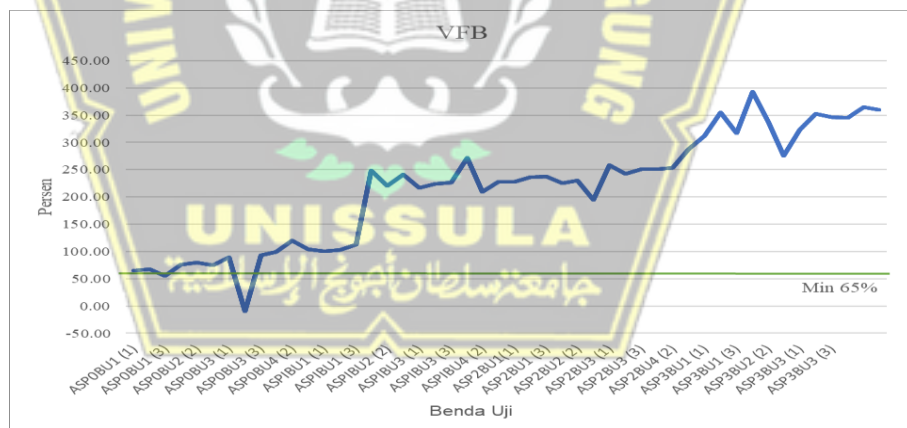
Nilai VMA (*Void in Mineral Aggregate*) untuk setiap campuran berada di atas batas minimum yang ditetapkan, yaitu 15%. Dengan demikian, semua campuran memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan. Nilai terendah sebesar 17,64% (ASP3BU1), sedangkan nilai tertinggi adalah 176,70% (ASP0BU3).



Grafik 4. 27 Rekapitulasi Nilai VIM

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

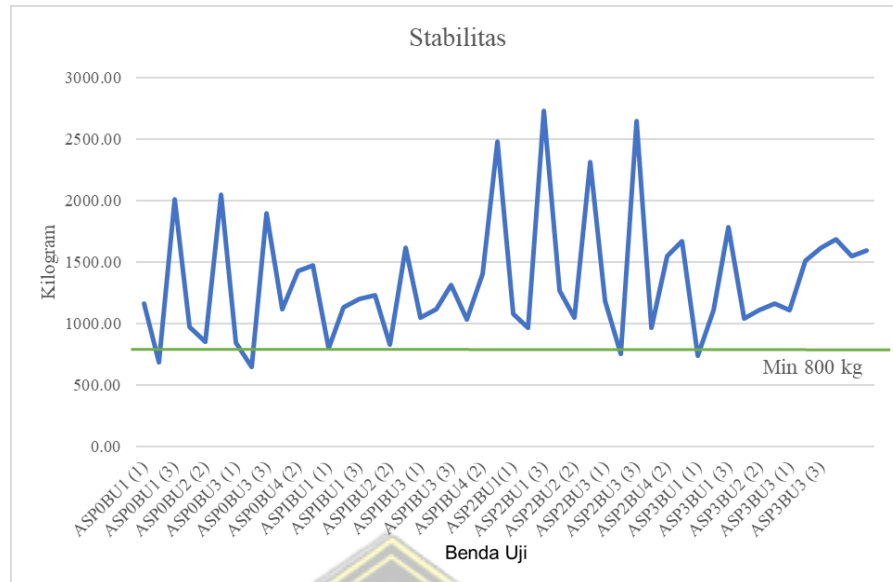
Nilai VIM (*Void in the Mix*) untuk setiap campuran beberapa berada di atas batas minimum yang ditetapkan, yaitu 5%. Dengan demikian, ada beberapa campuran yang tidak memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan. Nilai terendah sebesar -58,54% (ASP3BU4), sedangkan nilai tertinggi adalah 194,91% (ASP3BU4).



Grafik 4. 28 Rekapitulasi Nilai VFB

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

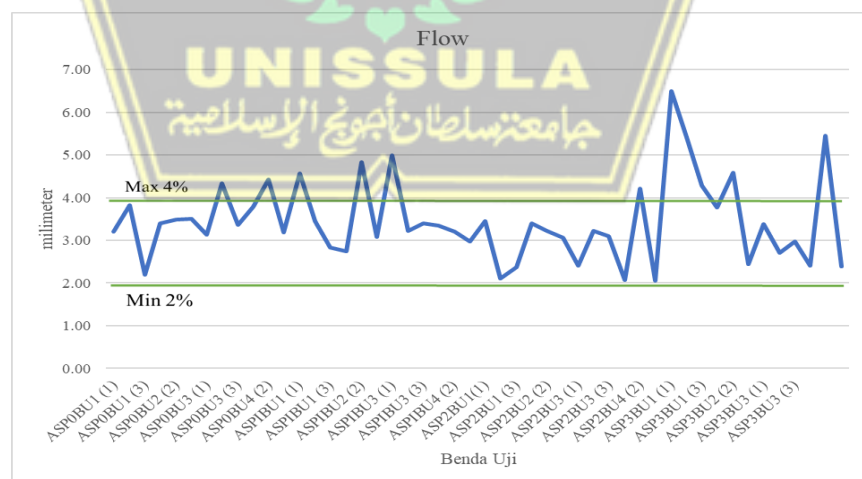
Nilai VFB (*Void Filled with Bitumen*) menunjukkan bahwa sebagian besar campuran telah memenuhi spesifikasi minimum sebesar 65%. Namun, terdapat beberapa campuran yang tidak memenuhi spesifikasi, seperti ASP0BU1 (54,72%), ASP0BU3 (-10,30%).



Grafik 4. 29 Rekapitulasi Nilai Stabilitas

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

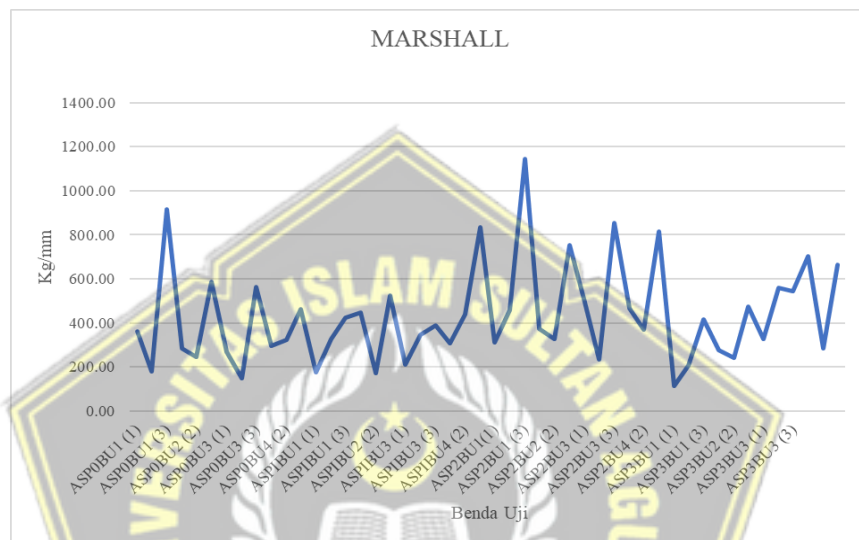
Nilai stabilitas untuk setiap campuran berada atas batas minimum yang ditetapkan, yaitu 800 kg. Namun terdapat beberapa campuran yang tidak memenuhi seperti ASP0BU1 (687,19 kg), ASP0BU3 (647,92 kg), ASP2BU3 (755,91), ASP3BU1 (736,28). Dengan demikian, terdapat 4 campuran yang tidak memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan. Nilai terendah sebesar 647,92 kg (ASP0BU3), sedangkan nilai tertinggi adalah 2729,13 kg (ASP2BU1).



Grafik 4. 30 Rekapitulasi Nilai *Flow*

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Nilai Kelelahan (*Flow*), batas minimum yang ditetapkan adalah 2% dan maksimum adalah 4%. Dengan demikian, terdapat 8 benda uji yang tidak memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan. Yaitu ASP0BU3 (4,33 mm), ASP0BU4 (4,43 mm) dan ASP1BU1 (4,57 mm), ASP1BU2 (4,53 mm), ASP1BU3 (5,00 mm), ASP3BU1 (6,50 mm), ASP3BU2 (4,58 mm), ASP3BU4 (5,45 mm). Nilai terendah sebesar 2,05 mm (ASP2BU4), sedangkan nilai tertinggi adalah 6,50 mm (ASP3BU1).



Grafik 4. 31 Rekapitulasi Nilai MQ

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Hasil *Marshall Quontient* untuk setiap campuran telah memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan. Dengan nilai terendah sebesar 1146,69 kg (ASP2BU1), sedangkan nilai tertinggi adalah 113,27 kg (ASP3BU1)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil penelitian yang telah dilakukan maka *Job Mix Design* karakteristik terbaik dari *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) dengan bahan tambah Abu sekam padi (*rice husk ash*) 0% dan Abu arang kayu 1% dimana hasil dari pengujian tersebut memenuhi sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018 yang dapat dilihat pada halaman 100 Tabel 4.22. Hasil *Marshall* Benda Uji dengan nilai (VMA 20.46), (VIM 4.75), (VFB 76.82), (Stabilitas 1292,57), (*Flow* 3,46), (*Marshall Quotient* 373.58) dan disimpulkan bahwa dapat digunakan sebagai perkerasan jalan
2. Stabilitas *marshall* tertinggi diperoleh pada variasi ASP1BU4 (Abu Sekam Padi 6% dan Abu Arang Kayu 1%) dengan nilai stabilitas sebesar 1639,44 kg.

5.2. Saran

Agar penelitian mendapatkan hasil sesuai apa yang diinginkan serta merekomendasikan untuk penelitian selanjutnya, ada beberapa hal yang harus diperhatikan, diantaranya:

1. Memperhatikan dan menjaga kondisi laboratorium agar tidak mempengaruhi penimbangan material.
2. Proses penumbukan benda uji menggunakan alat *compaction* harus dilakukan dengan lebih akurat, sesuai dengan standar SNI yang berlaku.
3. Untuk peneliti selanjutnya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk modifikasi variasi Abu Sekam Padi dan Abu Arang Kayu agar mendapatkan nilai stabilitas yang terbaik.
4. Melakukan pengembangan terhadap modifikasi variasi penambahan material lain terhadap campuran *Asphalt concrete wearing course* (AC-WC).
5. Ketika pengujian *Marshall Test* disarankan untuk menggunakan alat perekam digital agar hasil pembacaan stabilitas dan kelelahan dapat dibaca secara akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Marga, B. (1987). Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston). *Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal BinaMarga. Jakarta.*
- Lubis, F. H., & Suparmin, A. S. (2025). Implementasi UU No 22 Tahun 2009 Pasal 131 Terkait Pemenuhan Hak Pejalan Kaki di Kota Pematang Siantar dalam Perspektif Siyasa Dusturiyah. *Asas Wa Tandhim: Jurnal Hukum, Pendidikan Dan Sosial Keagamaan*, 4(2), 375-390.
- Yusril, Y. (2024). *Studi Pengaruh Penggunaan Cangkang Sawit Sebagai Substitusi Agregat Kasar Terhadap Campuran AC-WC Menggunakan Spesifikasi Bina Marga 2018* (Doctoral dissertation, Universitas Fajar).
- Santoso, Y. M., & Risdianto, Y. Pemanfaatan aspal daur ulang untuk pembuatan (Asphalt Concrete-Binder Course) AC-BC berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dan Spesifikasi Khusus Bina Marga 2019 dengan menggunakan filler abu sekam padi. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya [Online]*, 11(1).
- Akbar, Said Jalalul, and Wesli Wesli. (2012) "Stabilitas Lapis Aspal Beton AC-WC Menggunakan Abu Sekam Padi." *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil* 2.4.
- Akifah, Farah, Zairipan Jaya, and Supardin Supardin. (2024) "efek penambahan karbon abu arang kayu ke dalam bitumen dan campuran aspal beton porous." *jurnal sipil sains terapan* 7.01.
- Devi, Umma Chintya. (2021) *pengaruh limbah serbuk besi sebagai agregat halus (filler) terhadap campuran aspal (ac-wc)*. Diss. Universitas Islam Lamongan.
- Hermansyah, Hermansyah, Arif Fajar Isnain, and Febri Yanti. (2022) "Karakteristik Marshall pada Campuran Aspal HRS-WC Menggunakan Abu Sekam Padi." *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil* 5.1.
- Hermansyah, Hermansyah, Bambang Wansa Putra, and Opan Wawan Widiandiyah. (2022) "Meningkatkan Nilai Rongga Stabilitas Dan Flow Campuran Aspal HRS-WC Dengan Memanfaatkan Sekam Padi." *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil* 5.1.

- Ismadarni, Ismadarni, Risman Risman, and Muhammad Kasan. (2013) *Karakteristik Beton Aspal Lapis Pengikat (Ac-bc) Yang Menggunakan Bahan Pengisi Pengisi (Filler) Abu Sekam Padi*. Diss. Tadulako University,
- leandro, luvi andri. (2021) *pengaruh penggunaan filler abu sekam padi dan zeolit terhadap kinerja campuran aspal ac-wc menggunakan metode warm mix*. Diss. Universitas Mercu Buana Jakarta.
- Maulana, M. Diky. (2023) *analisis pemanfaatan limbah arang kayu sebagai bahan tambah filler pada perkerasan aspal (ac-wc)*. diss. universitas sultan ageng tirtayasa.
- Muthawaliatutdin, Indah, and Alfia Ratna Mafiroh. (2024) *analisis asphalt concrete wearing course (ac-wc) dengan substitusi abu sekam padi (rice husk ash) dan abu terbang batu bara (fly ASH)*. Diss. Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Pohan, Siti Aminah. (2019) *Pengaruh Penambahan Abu Arang Kayu Pada Aspal Porus Terhadap Perkerasan Jalan*. Diss. Universitas Islam Riau.
- Purwanto, Herri, and M. Firdaus. (2024) "Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Terhadap Komposisi Campuran Aspal Beton (AC WC)." *Journal Of Civil Engineering Building And Transportation* 8.1 : 176-183.
- Putra, Kurnia Hadi, and Mutiara Firdausi. (2020) "Studi Eksperimental Penambahan Serbuk Arang Kayu Dengan Kadar 10% Terhadap Filler Semen Pada Campuran Perkerasan AC-WC." *Rekayasa: Jurnal Teknik Sipil* 4.2 : 7-10.
- Putri, Elsa Eka, and Syukri May Putra. (2019) "pengaruh penambahan abu arang tempurung kelapa (aatk) terhadap durabilitas perkerasan asphalt concrete-wearing course." *Andalas Civil Engineering (ACE) Conference*.
- Rianto, Ridwan Hadi. (2007) *Pengaruh Abu Sekam Sebagai Bahan Filler Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR)*. Diss. program pasca sarjana universitas diponegoro.
- RPS, Dosen Pengembang, M. T. Febryanto, and Dosen Pengampu MK. "universitas pahlawan tuanku tambusai fakultas sains dan teknologi program studi teknik sipil."

- setiono, eko. (2023) “*analisis abu sekam padi sebagai filler tambahan terhadap stabilitas dan kepadatan campuran lapis aspal AC–BCNR*. Diss. Universitas Bina Darma”.
- Simangunsong, Bobby Alexander, and Rizky Franchitika. (2024) "Kajian Perencanaan Efektivitas Aspal Geopori Dengan Penggunaan Filler Abu Sekam Padi Pada Perkerasan Jalan Raya." *JUITECH: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Quality* 8.2 : 40-53.
- Suardi, Suardi, and Muh Tahir. (2018) “*Analisis Kinerja Aspal Beton Menggunakan Filler Abu Sekam Padi Pada Kondisi Terendam Air Bersifat Asam*. Diss. Politeknik Negeri Ujung Pandang”.
- Tika, Despa Ibrian, Alfian Malik, and Mardani Sebayang. "karakteristik marshall pada campuran asphalt concrete-binder course (ac-bc) dengan pemanfaatan kombinasi limbah abu serbuk kayu dan abu arang tempurung kelapa sebagai filler."
- Umum, Departemen Pekerjaan, and Standardisasi Nasional. "Agustian, K., Saleh, SM, & Anggraini, R.(2017). Dampak Substitusi Polystyrene (PS) ke dalam Aspal Penetrasi 60/70 dan Abu Sekam Padi sebagai Filler Terhadap Karakteristik Campuran AC-WC. Jurnal Teknik Sipil”.
- Amal, AS, & Saleh, C.(2015). Pemanfaatan Limbah Batu Marmer sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Campuran Aspal Beton terhadap."
- Yunus, Andi Ibrahim. (2024) "Tinjauan Nilai Parameter Marshall dan Kehilangan Berat Campuran Perkerasan AC-WC Menggunakan Spesifikasi Bina Marga dengan Memanfaatkan Abu Sekam Padi." *Jurnal Tekstur Kota* 2.1: 21-35.