

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS *ASHPALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC)* DENGAN SUBSTITUSI ABU SEKAM PADI (*RICE HUSK ASH*) DAN ABU TERBANG BATU BARA (*FLY ASH*)**

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



**Disusun Oleh :**

**Indah Muthawaliatuddin  
NIM : 30202000089**

**Alfia Ratna Mafiroh  
NIM : 3020200022**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
2023**

## LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC)* DENGAN  
SUBSTITUSI ABU SEKAM PADI (*RICE HUSK ASH*) DAN ABU TERBANG  
BATU BARA (*FLY ASH*)



**Indah Muthawaliatutdin**  
NIM : 30202000089



**Alfia Ratna Mafiroh**  
NIM : 30202000222

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Januari 2024

Tim Penguji

1. **Dr. Ir. H. Rachmat Mudiono, MT., Ph.D**  
NIDN: 0605016802
2. **Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT**  
NIDN: 0623026901
3. **Dr. Juny Andry Sulistyو.ST., MT**  
NIDN: 0611118903

Tanda Tangan

A blue ink signature of Dr. Ir. H. Rachmat Mudiono, positioned above a dotted line.

A blue ink signature of Dr. Juny Andry Sulistyو, positioned above a dotted line.

A blue ink signature of Dr. Ir. Rinda Karlinasari, positioned above a dotted line.

Ketua Program Studi Teknik Sipil  
Fakultas Teknik  
Universitas Islam Sultan Agung

A blue ink signature of Muhamad Rusli Ahyar, positioned above a dotted line.

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

## **BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR**

No:10/A.2/SA-T/IX/2023

Pada hari ini tanggal berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Ir. H. Rachmat Mudyono, MT., Ph.D  
Jabatan Akademik : Lektor Kepala  
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama

2. Nama : Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT  
Jabatan Akademik : Lektor  
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

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

Indah Muthawaliatutdin  
NIM : 30202000089

Alfia Ratna Mafiroh  
NIM : 30202000222

Judul : ANALISIS *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC)* DENGAN SUBSTITUSI ABU SEKAM PADI (*RICE HUSK ASH*) DAN ABU TERBANG BATU BARA (*FLY ASH*)

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	15/09/2023	ACC
2	Seminar Proposal	07/11/2023	ACC
3	Pengumpulan data	20/11/2023	ACC
4	Analisis data	01/12/2023	ACC
5	Penyusunan laporan	20/12/2023	ACC
6	Selesai laporan	16/01/2024	ACC

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

Dosen Pembimbing Utama

Ir. H. Rachmat Mudyono, MT., Ph.D

Dosen Pembimbing Pendamping

Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

NAMA : Indah Muthawaliatutdin

NIM : 30202000089

NAMA : Alfia Ratna Mafiroh

NIM : 30202000222

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : **“ANALISIS ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC) DENGAN SUBSTITUSI ABU SEKAM PADI (*RICE HUSK ASH*) DAN ABU TERBANG BATU BARA (*FLY ASH*)”** 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, 31 / 01 / 2024

Yang membuat pernyataan,



Indah Muthawaliatutdin  
NIM: 30202000089

Alfia Ratna Mafiroh  
NIM: 30202000222

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Indah Muthawaliatudin

NIM : 30202000089

NAMA : Alfia Ratna Mafiroh

NIM : 30202000222

JUDUL TUGAS AKHIR : **ANALISIS ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC) DENGAN SUBSTITUSI ABU SEKAM PADI (RICE HUSK ASH) DAN ABU TERBANG BATU BARA (FLY ASH)**

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 ijazah 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, 31 / 01 /2024

Yang membuat pernyataan,



Indah Muthawaliatudin  
NIM: 30202000089

Alfia Ratna Mafiroh  
NIM: 30202000222

## MOTTO

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

“Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik”. (Qs. Ali Imran: 110)

وَمَنْ يَتَّقِ اللَّهَ يَجْعَلْ لَهُ مَخْرَجًا ۚ (۲) وَيَرْزُقْهُ مِنْ حَيْثُ لَا يَحْتَسِبُ ۚ وَمَنْ يَتَّوَكَّلْ عَلَى اللَّهِ فَهُوَ حَسْبُهُ ۗ إِنَّ اللَّهَ بَلِغُ أَمْرِهِ ۗ قَدْ جَعَلَ اللَّهُ لِكُلِّ شَيْءٍ قَدْرًا (۳)

“Barang siapa yang bertaqwa kepada Allah, maka Allah memberikan jalan keluar kepadanya dan memberi rezeki dari arah yang tidak disangka-sangka”. (Qs. Ath Thalaq: 2-3)

وَلَا تَهِنُوا وَلَا تَحْزَنُوا وَأَنْتُمْ الْأَعْلَوْنَ إِنْ كُنْتُمْ مُؤْمِنِينَ  
Janganlah kamu bersikap lemah dan janganlah pula kamu bersedih hati, padahal kamulah orang-orang yang paling tinggi derajatnya jika kamu beriman. (Qs. Ali Imran :139)

مَنْ أَرَادَ الدُّنْيَا فَعَلَيْهِ بِالْعِلْمِ، وَمَنْ أَرَادَ الْآخِرَةَ فَعَلَيْهِ بِالْعِلْمِ، وَمَنْ أَرَادَهُمَا فَعَلَيْهِ بِالْعِلْمِ

Barang siapa yang menghendaki kehidupan dunia maka wajib baginya memiliki ilmu, dan barang siapa yang menghendaki kehidupan Akhirat, maka wajib baginya memiliki ilmu, dan barang siapa menghendaki keduanya maka wajib baginya memiliki ilmu”. (HR. Tirmidzi)

إِنَّ اللَّهَ فَالِقُ الْخَبِّ وَالنَّوَى ۗ يُخْرِجُ الْحَيَّ مِنَ الْمَيِّتِ وَمُخْرِجُ الْمَيِّتِ مِنَ الْحَيِّ ۗ ذَٰلِكُمْ اللَّهُ فَاتَىٰ تَوْفِكُونَ

Sungguh, Allah yang menumbuhkan butir (padi-padian) dan biji (kurma). Dia mengeluarkan yang hidup dari yang mati dan mengeluarkan yang mati dari yang hidup. Itulah (kekuasaan) Allah, maka mengapa kamu masih berpaling?"

(QS. Al-An'am: 95)

## 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 yang saya sayangi yaitu Bapak Harjono dan Ibu Giyanti serta kakak saya Ani Juwita Sari.SE, Hengki Saputro, dan adik saya Moh. Baderudin Wijaya yang telah menjadi support sistem yang sangat besar untuk saya selama ini berupa segenap kasih sayang, semangat, motivasi, nasihat dan do'anya untuk keberkahan saya dalam mencari ilmu yang bermanfaat serta memotivasi saya untuk mengejar impian dan cita-cita.
2. Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Dr. Juny Andry Sulisty, ST., MT dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Alfia Ratna Mafiroh (Partner TA) yang selama ini berjuang bersama menyelesaikan Tugas Akhir dan melewati suka duka selama mengerjakan Tugas Akhir.
6. Kepada NIM Farhan Nur Asy'arie yang telah menjadi sosok rumah tempat melepaskan segala keluh kesah, terima kasih atas segala usahanya dalam memberikan semangat, doa, motivasi, dan menemani setiap proses penyusunan Tugas Akhir.
7. Sahabat saya yaitu teman-teman Kost Sriyono yang selalu mendoakan dan memberi semangat kepada saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir.

Indah Muthawaliatutdin  
NIM: 30202000089

## 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, yaitu Bapak Sunardi dan Ibu Marjilah yang selalu memberikan semangat, saran, dukungan dan do'a untuk keberkahan saya dalam mencari ilmu yang bermanfaat untuk mengejar impian dan cita-cita.
2. Ir. H. Rachmat Mudiyono, MT., Ph.D dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Dr. Juny Andry Sulistyio.ST,MT dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Jajaran Asisten Laboratorium Perkerasan Jalan yang telah membantu saya dalam melakukan penelitian ini.
6. Indah Muthawaliatuddin (Partner TA) yang selama ini berjuang bersama menyelesaikan Tugas Akhir dan melewati suka duka selama mengerjakan Tugas Akhir.
7. Muhamad Mirza yang selalu menemani dan memberikan banyak pembelajaran kepada saya dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
8. Sahabat saya yaitu teman-teman dari kost Bapak Sriyono yang selalu memberikan dorongan, semangat dan juga hiburan selama mengerjakan Tugas Akhir ini.

Alfia Ratna Mafiroh  
NIM: 30202000222

## 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 *Ashpalt Concrate Wearing Course (AC-WC)* Dengan Subtitusi Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash*) dan Abu Terbang Batu Bara (*Fly Ash*)".

Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat terwujud atas pertolongan Allah Tuhan Yang Maha Penolong dan atas bantuan serta dukungan beberapa pihak. Untuk itu ingin mengucpkan 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 Ir. H. Rachmat Mudiyono, MT., Ph. D, selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan, kesabaran dan bimbinga dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
4. Ibu Dr. Ir. Rinda Karlinasari, M.T selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan, kesabaran dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
5. 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,.....2024

Indah Muthawaliatutdin

Alfia Ratna Mafiroh

## 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 GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GRAFIK.....	xvii
ABSTRAK.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Abu Terbang ( <i>Fly Ash</i> ).....	5
2.2 Penyusun Perkerasan Jalan.....	6
2.3 Persyaratan Agregat .....	7
2.4 Abu Sekam Padi ( <i>Rice Husk Ash</i> ).....	8
2.5 Karakteristik Campuran Aspal Beton.....	9
2.6 Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	11
2.7 Laston Lapis Aus (AC-WC).....	11

2.8	Material Penyusun Perkerasan Jalan .....	13
2.9	Spesifikasi gradasi agregat lapis AC-WC .....	13
2.9.1	Aspal.....	14
2.9.2	Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Metode Marshall .....	14
2.9.3	Pengikat Bintumen .....	15
2.9.4	Generally equivalent common graded of unmodified bitumen .....	16
2.10	Sifat Bahan <i>Aggregate Aspal Wearing Coarse</i> .....	17
2.10.1	Fraksi Agregat Kasar.....	17
2.10.2	Fraksi Agregat Halus.....	17
2.10.3	Sifat bahan yang disyaratkan.....	17
2.10.4	Pencampuran bahan.....	18
2.11	Lapis Pengikat.....	18
2.12	Penelitian Terdahulu yang Sejenis .....	20
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>		<b>25</b>
3.1.	Tipe Penelitian.....	25
3.2.	Bahan dan Peralatan Penelitian.....	25
3.2.1	Bahan Penelitian.....	25
3.2.2	Peralatan Penelitian.....	26
3.2.3	Rancangan Campuran Aspal ( <i>Job Mix Design</i> ).....	26
3.3.	Rancangan Dan Pelaksanaan Penelitian.....	31
3.4.	Bagan Alir Program Kerja 3. 1.....	32
3.5.	Aspal.....	33
3.6.	Sifat – Sifat Campuran Aspal .....	34
3.6.1.	Stabilitas .....	34
3.6.2	Kelelahan Plastis (Flow).....	34
3.6.3	Marshall Quotient.....	34
3.7	Laston Lapis Aus (AC – WC) .....	35
3.8	Metode Analisis.....	35
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>37</b>
4.1	Persiapan Penelitian .....	37
4.2	Kadar Aspal Optimum .....	38

4.3	Rancangan Campuran Aspal ( <i>Job Mix Design</i> ) .....	40
4.4	Pengujian Laboratorium.....	42
4.4.1	Hasil Pengujian Penetrasi .....	42
4.4.2	Hasil Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar .....	43
4.4.3	Hasil Pengujian Titik Lembek.....	45
4.4.4	Hasil Pengujian Viskositas .....	46
4.4.5	Hasil Pengujian Agregat.....	47
4.4.6	Hasil Pengujian Pasir.....	49
4.4.7	Hasil Pengujian Fly Ash.....	50
4.4.8	Hasil Pengujian Abu Sekam Padi.....	51
4.4.9	Hasil Perhitungan Kombinasi Agregat.....	52
4.5	Pembuatan Benda Uji .....	54
4.6	Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Maksimum GMM.....	55
4.7	Pengujian Kadar Ekstraksi .....	58
4.8	Bagan Alir Hasil Pengujian AC-WC .....	58
4.9	Bagan Hasil Pemeriksaan <i>Marshall</i> .....	59
4.9.1	Hasil <i>Marshall</i> Benda Uji Normal.....	60
4.9.2	Hasil <i>Marshall</i> Benda Uji Kombinasi <i>Fly Ash</i> 10% + Abu Sekam Padi 0% ....	63
4.9.3	Hasil <i>Marshall</i> Benda Uji Kombinasi <i>Fly Ash</i> 20% + Abu Sekam Padi 0,25% 65	
4.9.4	Hasil <i>Marshall</i> Benda Uji Kombinasi <i>Fly Ash</i> 30% + Abu Sekam Padi 0,5% .	68
4.9.5	Hasil <i>Marshall</i> Benda Uji Kombinasi <i>Fly Ash</i> 0% + Abu Sekam Padi 1% .....	70
4.9.6	Hasil <i>Marshall</i> Benda Uji Kombinasi <i>Fly Ash</i> 40% + Abu Sekam Padi 1,5% .	73
4.9.7	Hasil <i>Marshall</i> Benda Uji Kombinasi <i>Fly Ash</i> 50% + Abu Sekam Padi 2% ....	75
4.10	Hasil Rekapitulasi .....	78
BAB V METODE PENELITIAN.....		79
5.1	Kesimpulan.....	79
5.2	Saran.....	80
DAFTAR PUSTAKA .....		
LAMPIRAN .....		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Marshall Compaction Hammer &amp; Alat Marshall Test</i> .....	15
Gambar 3.1. Rancangan dan Pelaksanaan Penelitian .....	31
Gambar 4.1. Abu Sekam Padi .....	37
Gambar 4.2. Penentuan Kadar Aspal Optimum .....	39
Gambar 4.3. Pengujian Penetrasi Aspal .....	42
Gambar 4.4. Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal .....	44
Gambar 4.5. Pengujian Titik Lembek .....	45
Gambar 4.6. Pengujian Viskositas .....	46
Gambar 4.7. Kombinasi Agregat .....	54
Gambar 4.8. Pengujian GMM .....	56
Gambar 4.9. Pengujian Marshall .....	60



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Persyaratan Agregat Kasar .....	7
Tabel 2.2. Ketentuan Agregat Halus .....	8
Tabel 2.3. Kandungan Dalam Abu Sekam Padi.....	9
Tabel 2.4. Spesifikasi Pengujian Aspal.....	14
Tabel 2.5. Gradasi Agregat Lapis Drainase untuk Wearing Coarse .....	17
Tabel 2.6. Sifat-sifat Agregat Lapis Drainase untuk Wearing Coarse.....	18
Tabel 2.7. Peneliti Terkait.....	20
Tabel 3.1. Rancangan Campuran Aspal ( <i>Job Mix Design</i> ) Komposisi Normal .....	27
Tabel 3.2. Rancangan Campuran Aspal ( <i>Job Mix Design</i> ) Komposisi <i>Fly Ash</i> 10% + <i>Filler</i> 90% dan Abu Batu 100% + Abu Sekam Padi 0% .....	27
Tabel 3.3. Rancangan Campuran Aspal ( <i>Job Mix Design</i> ) Komposisi <i>Fly Ash</i> 20% + <i>Filler</i> 80% dan Abu Batu 99,75% + Abu Sekam Padi 0,25% .....	28
Tabel 3.4. Rancangan Campuran Aspal ( <i>Job Mix Design</i> ) Komposisi <i>Fly Ash</i> 300% + <i>Filler</i> 70% dan Abu Batu 99,75% + Abu Sekam Padi 0,5% .....	28
Tabel 3.5. Rancangan Campuran Aspal ( <i>Job Mix Design</i> ) Komposisi <i>Fly Ash</i> 0% + <i>Filler</i> 100% dan Abu Batu 99% + Abu Sekam Padi 01% .....	29
Tabel 3.6. Rancangan Campuran Aspal ( <i>Job Mix Design</i> ) Komposisi <i>Fly Ash</i> 40% + <i>Filler</i> 60% dan Abu Batu 98,5% + Abu Sekam Padi 1,5% .....	29
Tabel 3.7. Rancangan Campuran Aspal ( <i>Job Mix Design</i> ) Komposisi <i>Fly Ash</i> 50% + <i>Filler</i> 50% dan Abu Batu 98% + Abu Sekam Padi 2% .....	30
Tabel 4.1. Data Hasil Pengujian untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum .....	38
Tabel 4.2. Rancangan Campuran Aspal ( <i>Job Mix Design</i> ) Komposisi Normal .....	40
Tabel 4.3. Rancangan Campuran Aspal ( <i>Job Mix Design</i> ) Komposisi <i>Fly Ash</i> 10% + <i>Filler</i> 90% dan Abu Batu 100% + Abu Sekam Padi 0% .....	40
Tabel 4.4. Rancangan Campuran Aspal ( <i>Job Mix Design</i> ) Komposisi <i>Fly Ash</i> 20% + <i>Filler</i> 80% dan Abu Batu 99,75% + Abu Sekam Padi 0,25% .....	40
Tabel 4.5. Rancangan Campuran Aspal ( <i>Job Mix Design</i> ) Komposisi <i>Fly Ash</i> 30% + <i>Filler</i> 70% dan Abu Batu 99,5% + Abu Sekam Padi 0,5% .....	41

Tabel 4.6. Rancangan Campuran Aspal ( <i>Job Mix Design</i> ) Komposisi <i>Fly Ash</i> 0% + <i>Filler</i> 100% dan Abu Batu 99% + Abu Sekam Padi 1% .....	41
Tabel 4.7. Rancangan Campuran Aspal ( <i>Job Mix Design</i> ) Komposisi <i>Fly Ash</i> 40% + <i>Filler</i> 60% dan Abu Batu 98,5% + Abu Sekam Padi 1,5% .....	41
Tabel 4.8. Rancangan Campuran Aspal ( <i>Job Mix Design</i> ) Komposisi <i>Fly Ash</i> 50% + <i>Filler</i> 50% dan Abu Batu 98% + Abu Sekam Padi 2% .....	42
Tabel 4.9. Data Hasil Pengujian Penetrasi Aspal .....	43
Tabel 4.10. Data Hasil Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar .....	44
Tabel 4.11. Data Hasil Pengujian Titik Lembek .....	45
Tabel 4.12. Data Hasil Pengujian Viskositas .....	46
Tabel 4.13. Hasil Kesimpulan Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Pertamina 60/70.....	47
Tabel 4.14. Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat .....	48
Tabel 4.15. Hasil Analisa Pembagian Butiran (SNI 03-1968-1990 / AASHTO T.27-88) .....	49
Tabel 4.16. Hasil Analisa Pembagian Butiran (SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88) .....	50
Tabel 4.17. Hasil Analisa Pembagian Butiran (SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88) .....	51
Tabel 4.18. Perhitungan Kombinasi Agregat (SNI 03-1968 1990/AASHTO T.27-88) .....	52
Tabel 4.19. Spesifikasi Batas Kom. Lolos Saringan (SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88).....	53
Tabel 4.20. Pembuatan Benda Uji .....	54
Tabel 4.21. Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Maksimum GMM (AASHTO-T.209-90) .....	57
Tabel 4.22. Hasil Pengujian Kadar Aspal .....	58
Tabel 4.23. Komposisi Material AC-WC .....	58
Tabel 4.24. Hasil <i>Marshall</i> Komposisi Normal .....	61

Tabel 4.25. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi <i>Fly Ash</i> 10% + Abu Sekam Padi 0% .....	63
Tabel 4.26. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi <i>Fly Ash</i> 20% + Abu Sekam Padi 0,25% .....	66
Tabel 4.27. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi <i>Fly Ash</i> 30% + Abu Sekam Padi 0,5% .....	68
Tabel 4.28. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi <i>Fly Ash</i> 0% + Abu Sekam Padi 1% .....	71
Tabel 4.29. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi <i>Fly Ash</i> 40% + Abu Sekam Padi 1,5% .....	73
Tabel 4.30. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi <i>Fly Ash</i> 50% + Abu Sekam Padi 2% .....	76
Tabel 4.31. Rekapitulasi Hasil Rata-Rata Pengujian <i>Marshall</i> .....	78



## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1. Grafik Hasil <i>Marshall</i> Komposisi Normal .....	61
Grafik 4.2. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi <i>Fly Ash</i> 10% + Abu Sekam Padi 0% .....	64
Grafik 4.3. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi <i>Fly Ash</i> 20% + Abu Sekam Padi 0,25% .....	66
Grafik 4.4. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi <i>Fly Ash</i> 30% + Abu Sekam Padi 0,5% .....	69
Grafik 4.5. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi <i>Fly Ash</i> 0% + Abu Sekam Padi 1% .....	71
Grafik 4.6. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi <i>Fly Ash</i> 40% + Abu Sekam Padi 1,5% .....	74
Grafik 4.7. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi <i>Fly Ash</i> 50% + Abu Sekam Padi 2% .....	76



**ANALISIS ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC)  
DENGAN SUBSTITUSI ABU SEKAM PADI (*RICE HUSK ASH*) DAN ABU  
TERBANG BATU BARA (*FLY ASH*)**

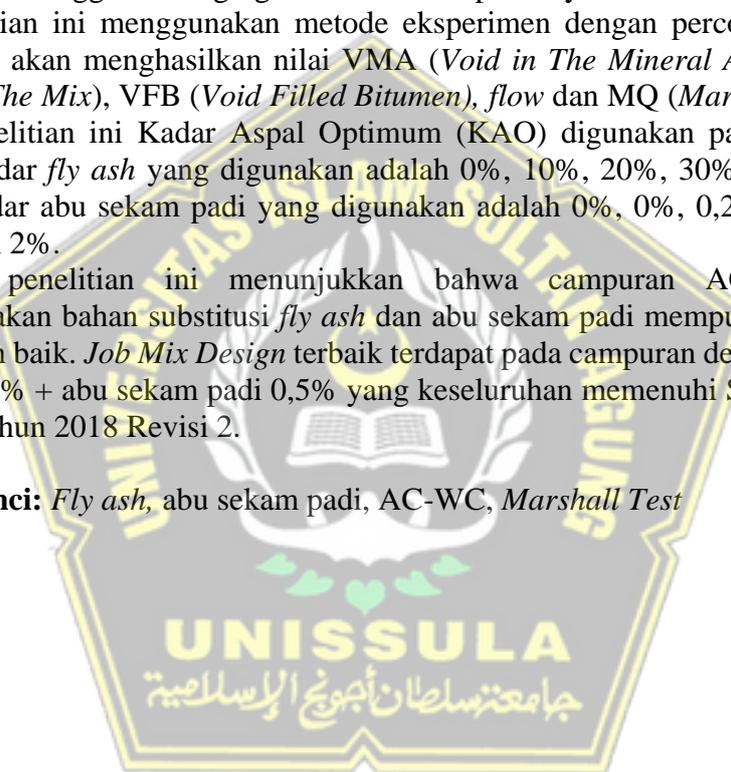
**Abstrak**

Memanfaatkan limbah sekitar dapat menjadi salah satu alternatif yang bisa dilakukan untuk menghemat biaya dalam pembuatan campuran beraspal. Penggunaan abu terbang batu bara (*fly ash*) dan abu sekam padi (*rice husk ash*) sebagai bahan substitusi pada campuran aspal bertujuan untuk mengisi rongga dan merekatkan rongga antar agregat di dalam campurannya.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan percobaan *Marshall Test* yang akan menghasilkan nilai VMA (*Void in The Mineral Agregat*), VIM (*Void in The Mix*), VFB (*Void Filled Bitumen*), *flow* dan MQ (*Marshall Quotient*). Pada penelitian ini Kadar Aspal Optimum (KAO) digunakan pada kadar aspal 5,8%. Kadar *fly ash* yang digunakan adalah 0%, 10%, 20%, 30%, 0%, 40% dan 50%. Kadar abu sekam padi yang digunakan adalah 0%, 0%, 0,25%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2%.

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% yang keseluruhan memenuhi Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2.

**Kata Kunci:** *Fly ash*, abu sekam padi, AC-WC, *Marshall Test*



## **ANALYSIS OF ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC) WITH SUBSTITUTION OF RICE HUSK ASH AND FLY ASH**

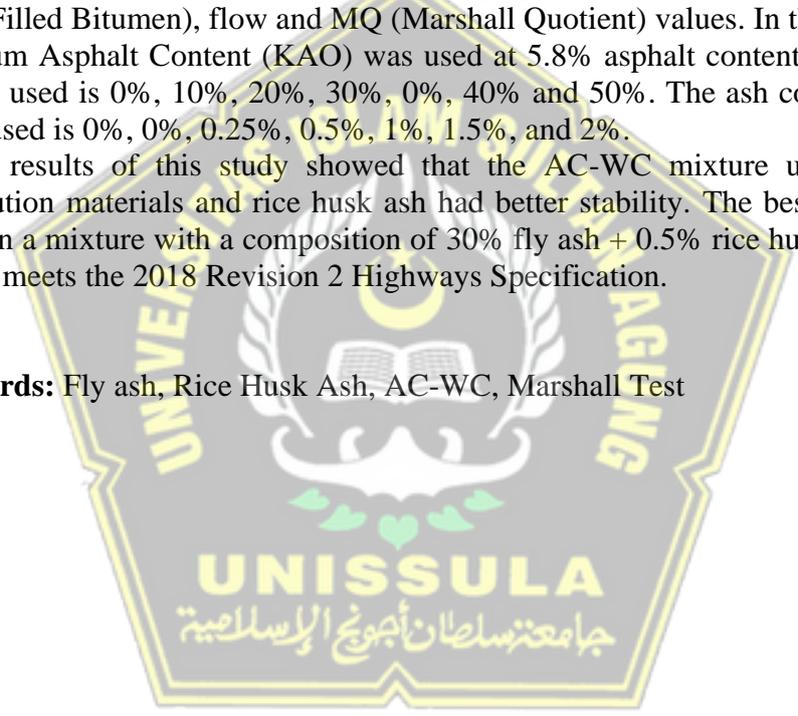
### **Abstract**

Utilizing surrounding waste can be one alternative that can be done to save costs in making paved mixtures. The use of fly ash and rice husk ash as substitution materials in asphalt mixtures aims to fill cavities and glue cavities between aggregates in the mixture.

This research uses an experimental method with Marshall Test experiments that will produce VMA (Void in The Mineral Aggregat), VIM (Void in The Mix), VFB (Void Filled Bitumen), flow and MQ (Marshall Quotient) values. In this study, the Optimum Asphalt Content (KAO) was used at 5.8% asphalt content. The fly ash content used is 0%, 10%, 20%, 30%, 40% and 50%. The ash content of rice husks used is 0%, 0.25%, 0.5%, 1%, 1.5%, and 2%.

The results of this study showed that the AC-WC mixture using fly ash substitution materials and rice husk ash had better stability. The best Job Mix is found in a mixture with a composition of 30% fly ash + 0.5% rice husk ash which overall meets the 2018 Revision 2 Highways Specification.

**Keywords:** Fly ash, Rice Husk Ash, AC-WC, Marshall Test



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Jalan merupakan salah satu prasarana transportasi yang pokok untuk menunjang kegiatan dalam masyarakat dan pembangunan. Salah satu yang menjadi dasar dalam layanan transportasi adalah kemampuan capaian umur desain dari suatu jalan. Desain campuran beraspal sangat penting dalam memastikan campuran yang efektif dan mampu meminimalisir kerusakan yang terjadi. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan penyediaan prasarana dengan kualitas yang baik sehingga pengguna jalan bisa merasakan nyaman dan aman dalam berkendara di jalan raya. Salah satu solusi untuk mendapatkan kualitas jalan yang baik yaitu dengan merekayasa jenis campuran, sebagai contoh adalah campuran aspal AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*).

Laston sebagai lapisan aus (AC-WC) adalah lapisan perkerasan jalan paling atas yang menerima pembebanan langsung dari lalu lintas kendaraan. Bina Marga mengembangkan campuran aspal yang dikenal dengan lapis aspal beton yang dapat menghasilkan jalan dengan kelenturan dan keawetan yang cukup baik. Selain Bina Marga, sampai saat ini masih banyak yang melakukan penelitian untuk campuran aspal yang dimodifikasi dengan menambahkan beberapa *filler* atau bahan pengisi rongga antar agregat seperti bahan kimia dan sisa limbah.

*Filler* pada umumnya menggunakan abu batu hasil sampingan dari mesin pemecah batu. Pemecahan agregat menggunakan mesin pemecah menghasilkan abu batu yang tidak seimbang dengan kebutuhan campuran. Oleh karena itu, dicari solusi agar kebutuhan *filler* dengan *fly ash* agar tercapai kebutuhan campuran yang diinginkan. *Fly ash* merupakan sisa dari hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik. Pada penelitian ini *fly ash* akan dikombinasikan dengan *filler* semen dan abu sekam padi akan disubstitusikan dengan komposisi abu batu. Abu sekam padi didapatkan dari hasil pembakaran padi atau gandum, sehingga memiliki partikel serta berat jenis yang kecil.

Pada penelitian ini menggunakan *Marshall Test* untuk mengetahui karakteristik dan kekuatan dari campuran dengan menggunakan substitusi *fly ash* dan abu sekam padi. Digunakannya *Marshall Test* dan pada penelitian ini karena umum digunakan pada pengujian campuran perkerasan.

## 1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana hasil pengujian sifat reologi aspal untuk memperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)?
2. Bagaimana pengaruh kadar campuran material abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu terbang batu bara (*fly ash*) terhadap parameter pengujian *Marshall Test*?
3. Apakah *fly ash* dan abu sekam padi dapat menjadi substitusi alternatif pada modifikasi campuran laston *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*?

## 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan ini adalah :

1. Mengetahui sifat reologi aspal dan Kadar Aspal Optimum (KAO) melalui pengujian laboratorium meliputi pengujian penetrasi, titik lembek, viskositas dan titik nyala.
2. Mengetahui *Job Mix Design* terbaik dengan parameter nilai (stabilitas, flow, VIM, VMA, MQ) pada pengujian *Marshall Test*.
3. Mengetahui apakah *fly ash* dan abu sekam padi dapat digunakan sebagai bahan substitusi alternatif pada modifikasi campuran perkerasan aspal secara optimal.

## 1.4. Batasan Masalah

Penelitian ini perlu dibatasi agar tidak menyimpang dari tujuan penelitiannya. Adapun beberapa lingkup penelitian ini terbatas pada ketentuan-ketentuan sebagai berikut :

1. Fraksi agregat kasar dan halus berasal dari PT. Adhimix RMC Indonesia - Plant Kaligawe Semarang
2. Bahan aspal menggunakan Aspal Pertamina Penetrasi 60/70 berasal dari PT. Deltamarga Adyatama Kudus, Area Sawah, Tanjungrejo, Kec. Jekulo,

Kabupaten Kudus, Jawa Tengah.

3. Pencampuran menggunakan pedoman Spesifikasi Umum Bina Marga (2018) Revisi 2 dan campuran aspal yang dibuat adalah *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* modifikasi.
4. Variasi penggunaan substitusi abu sekam padi sebagai campuran pada aspal adalah 0%, 0,25%, 0,5%, 1%, 1,5 %, dan 2%.
5. Variasi penggunaan substitusi *fly ash* sebagai campuran pada aspal adalah 10%, 20%, 30%, 0%, 40%, dan 50%.
6. Pengujian dengan metode *Marshall Test* dilakukan dalam kondisi suhu ruangan serta menggunakan acuan spesifikasi Bina Marga Revisi 2 Divisi 6 2018.
7. Penelitian dititik beratkan pada hasil pengujian *Marshall*, tidak pada reaksi kimia yang terjadi pada saat pencampuran bahan.
8. Penelitian hanya dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang dan tidak melakukan penghamparan lapangan.

### **1.5. Sistematika Penulisan**

Dalam melakukan penulisan penelitian ini akan digunakan sistematika penulisan sebagai berikut :

#### **BAB I : PENDAHULUAN**

Memberikan gambaran tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah serta sistematika penulisan penelitian.

#### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Menguraikan tentang adanya aspek legalitas dan teknis yang berkenaan langsung dengan analisis dalam penelitian ini. Penjabaran dan penguraian teori –teori yang digunakan sebagai bahan dalam menyelesaikan permasalahan yang dihadapi dalam penelitian.

#### **BAB III : METODE PENELITIAN**

Menguraikan tentang metode pelaksanaan penelitian mulai dari tahapan penelitian, lokasi penelitian, materi penelitian, alat survei, waktu serta tata cara dan proses pengumpulan data lapangan.

**BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Membahas tentang hasil penelitian dan pembahasan tentang penelitian yang telah dilaksanakan.

**BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisi kesimpulan hasil penelitian yang telah dilakukan serta mengemukakan beberapa saran yang mungkin untuk dilakukan dalam mendukung penelitian yang telah dilakukan.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

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 SiO<sub>2</sub> mencapai 80 - 90%. Yang juga menarik, 15 % - 20% berat abu akan diperoleh dari total berat sekam padi yang dibakar. Pemanfaatan abu sekam padi, dengan demikian, layak untuk dipikirkan (Wanadri, A., 1999). Salah satu upaya pemanfaatan abu sekam padi yang telah banyak dicoba adalah mereaksikannya dengan larutan NaOH untuk menghasilkan natrium silikat yang luas penggunaannya dalam industri, seperti sebagai bahan *filler* dalam pembuatan sabun dan detergen, bahan perekat (*adhesive*), dan jeli silika (*silica gel*) (Kirk and Orthmer, 1969 dalam Wanadri, A., 1999).

#### 2.1. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang (*fly ash*) adalah abu hasil pembakaran batu bara yang biasa dihasilkan pada industri pembangkit listrik. *Fly ash* biasanya hanya diolah pada tumpukan di kawasan industri atau lahan yang tidak digarap. Akumulasi abu layang batu bara menimbulkan masalah karena abu terbang di udara dapat terhirup oleh manusia dan hewan. Terbangnya abu batu bara juga dapat mempengaruhi kondisi air dan tanah di sekitarnya sehingga menyebabkan kematian tanaman. Efek negatif tersebut terutama disebabkan oleh unsur Pb, Cr dan Cd yang sebagian besar terkonsentrasi pada fraksi butiran yang sangat halus (0,5–10 µm). Butiran ini dapat dengan mudah diangkut dan dihirup oleh manusia dan hewan, sehingga konsentrasi tertentu yang terakumulasi dalam tubuh manusia dapat menimbulkan yang berbahaya.

Komponen utama abu layang batu bara dari pembangkit listrik adalah silikon oksida (SiO<sub>2</sub>), aluminium oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), oksida besi (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), kalsium (CaO) dan sisanya magnesium, kalium, natrium, titanium dan belerang dalam jumlah kecil (Putri: 2008). *Fly ash* terdiri dari butiran halus yang sebagian besar berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel *fly ash* yang dihasilkan selama pembakaran

batu bara kurang dari 0,075 mm. Kepadatan abu terbang bervariasi antara 2100 dan 3000 kg/m<sup>3</sup> dan permukaan spesifik antara 170 dan 1000 m<sup>2</sup>/kg. (Primer et al., 2007).

*Fly ash* memiliki kegunaan yang luas, seperti bahan baku semen, bahan tambahan pengolah limbah, bahan pengisi aspal dan lain-lain. Karbon sisa *fly ash* hasil pembakaran memiliki kualitas yang sama dengan karbon aktif, sehingga studi tentang penghilangan sisa karbon berpotensi untuk meningkatkan nilai ekonomis *fly ash*. Mengingat kegunaan *fly ash* sebagai bahan pengisi aspal dan pentingnya mengurangi dampak negatif lingkungan, penggunaan *fly ash* sebagai komponen bioaspal diharapkan dapat menciptakan produk yang ramah lingkungan dan mengurangi ketergantungan terhadap aspal turunan minyak bumi.

## 2.2. Penyusun Perkerasan Jalan

Agregat terdiri dari batu pecah, kerikil, pasir atau bahan galian alam dan buatan lainnya yang berupa mineral padat dalam besar, kecil atau pecahan. Agregat merupakan komponen utama dalam pembuatan struktur perkerasan jalan, menjadi 90-95% agregat berat atau 75-85% agregat volume (Djalante, 2011). Kualitas perkerasan jalan ditentukan dari sifat-sifat agregat dan hasil pencampuran agregat dengan bahan mineral lainnya. Sifat-sifat agregat menjadi salah satu faktor penentu daya dukung dan ketahanan permukaan jalan. Nilai penyerapan merupakan perubahan berat agregat karena penyerapan air oleh pori-pori dengan agregat pada kondisi kering, yang didapat dari menggunakan persamaan sebagai berikut:

Penyerapan Agregat Kasar

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

Penyerapan Agregat Halus

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

Keterangan

B : Berat piknometer berisi air, (gram)

B<sub>t</sub> : Berat piknometer berisi benda uji dan air, (gram)

B<sub>s</sub> : Berat sample, (gram)

B<sub>j</sub> : Berat sample kering permukaan jenuh

B<sub>k</sub> : Berat sample kering oven

### 2.3. Persyaratan Agregat

Berdasarkan jenis dan ukuran agregat dibedakan menjadi agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*).

#### a. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang tertinggal pada saringan No.1 (4,75 mm) dengan ketentuan harus bersih, sehat dan bebas dari tanah liat atau bahan lain yang tidak diinginkan dan memenuhi persyaratan tabel. Agregat kasar yang digunakan dalam pengujian harus dihancurkan atau kerikil dan disediakan dalam ukuran standar. Agregat kasar ini memberi permukaan lebih stabil dan memiliki tingkat ketahanan slip yang tinggi untuk memastikan keselamatan lalu lintas. Agregat kasar dengan bentuk butiran bulat memudahkan proses pemadatan tetapi memiliki stabilitas yang rendah, sedangkan agregat sudut sulit untuk dipadatkan tetapi memiliki stabilitas yang tinggi. Bila digunakan sebagai campuran lapisan aus, agregat kasar harus memiliki ketahanan abrasi untuk itu, nilai abrasi *test of the loss angle* harus diperhatikan.

**Tabel 2.1.** Persyaratan Agregat Kasar

Pengujian		Metode Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12%
	magnesium sulfat		Maks. 18%
Aborsi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	Campuran Ac Modifikasi dan SMA	100 putaran	Maks. 6%
		500 putaran	Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks. 8%
		500 putaran	Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/90 <sup>*</sup> )
	Lainnya		95/90 <sup>**</sup> )
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA	ASTM D4791-10 Perbandingan 1 : 5	Maks. 5%
	Lainnya		Maks. 10%
Material lolos Ayakan No.200		SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%

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

## b. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir lebih kecil dari saringan No.8 (2,36 mm). Agregat dapat meningkatkan stabilitas campuran dengan menempel di antara butiran. Agregat halus juga mengisi ruang antar butir. Bahan ini dapat terdiri dari kerikil atau pasir alam atau campuran keduanya. Persyaratan umum agregat halus sesuai ketentuan Spesifikasi Bina Marga 2018 Divisi 6.

**Tabel 2.2.** Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji Kadar Tanpa Pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Agregat Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

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

## c. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi adalah bahan yang melewati saringan No. 200 (0,075 mm) dan membentuk setidaknya 75% berat. Fungsi *filler* adalah untuk mengisi lubang-lubang udara udara pada material, sehingga mengeraskan material aspal. *Filler* juga berfungsi untuk meningkatkan kekentalan bahan bitumen dan untuk mengurangi sifat rentan terhadap temperatur. Abu batu atau semen *portland* dapat digunakan sebagai bahan pengisi.

## 2.4. 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 SiO<sub>2</sub> mencapai 80 - 90%. Yang juga menarik, 15 % - 20% berat abu akan diperoleh dari total berat sekam padi yang dibakar. Pemanfaatan abu sekam padi, dengan demikian, layak untuk dipikirkan (Wanadri, A., 1999).

Salah satu upaya pemanfaatan abu sekam padi yang telah banyak dicoba adalah mereaksikannya dengan larutan NaOH untuk menghasilkan natrium silikat yang luas penggunaannya dalam industri, seperti sebagai bahan *filler* dalam pembuatan sabun dan detergen, bahan perekat (*adhesive*), dan jeli silika (*silica gel*) (Kirk and Orthmer, 1969 dalam Wanadri, A., 1999).

Sekam padi merupakan bahan hasil sampingan produk pertanian, sekam yang dibakar mempunyai sifat *pozzolan* yang mengandung unsure silikat yang tinggi, rata rata SiO<sub>2</sub> 96,70% dengan *Pozzolanic Activity Index* 87%. *Pozzolan* ini mengandung sifat sementasi jika bercampur dengan kapur dan air.

**Tabel 2.3.** Kandungan dalam Abu Sekam Padi

No.	Unsur	Kandungan (%)
1	CaO	0.49
2	K <sub>2</sub> O	0.91
3	MgO	0.22
4	Na <sub>2</sub> O	0.26
5	TiO <sub>2</sub>	0.16
6	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.01
7	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01
8	SiO <sub>2</sub>	96.70
9	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05
10	MnO	0.19

(Sumber: Ceramic-Materials.com,2004)

## 2.5. Karakteristik Campuran Beton Aspal

Beton aspal terbat dari bahan bahan agregat, aspal dan/atau udara yang dicampur secara merata atau homogen dalam alat pencampur pada suhu tertentu. Aspal atau bitumen merupakan cairan kental yang terdapat senyawa hidrokarbon dengan sedikit mengandung sulfur, oksigen, dan klor. Aspal sebagai bahan pengikat dalam perkerasan lentur mempunyai sifat viskoelastis. Aspal merupakan bahan yang sangat kompleks, dan secara kimia dikarakterisasi dengan baik. Campuran tersebut kemudian disebar dan dipadatkan hingga terbentuk beton aspal yang padat (Hainin et al., 2012). Rumus perhitungan yang biasa digunakan pada campuran aspal beton adalah:

1. Berat jenis *Bulk* beton aspal padat (*G<sub>mb</sub>*)

Berat jenis *bulk* dari beton aspal padat (*G<sub>mb</sub>*) dapat diukur dengan menggunakan hukum *Archimedes*, yaitu:

$$G_{mb} = \frac{\text{Berat Uji Kering}}{\text{Berat Uji Kering Permukaan} - \text{Berat Uji dalam Air}} \dots\dots\dots (2.3)$$

2. Berat jenis maksimum beton aspal yang belum dipadatkan (Gmm)

Berat jenis maksimum (Gmm) campuran beton aspal yang tidak dipadatkan adalah berat jenis campuran beton aspal bebas udara yang ditentukan oleh uji laboratorium.

$$Gmm = \frac{100}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pb}{Gb}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan

- Gmm : Berat Jenis Maksimum Campuran
- Pb : Jumlah Aspal, % terhadap Total Berat Campuran
- Ps : Jumlah Agregat, % terhadap Total Berat Campuran
- Gb : Berat Jenis Aspal
- Gse : Berat Efektif Agregat

3. Rongga di antara mineral agregat (VMA)

Rongga diantara agregat (VMA) = *Voids of Mineral Aggregate* adalah jumlah pori antar agregat dalam beton aspal padat, dapat dinyatakan dalam persentase.

$$VMA = 100 - \frac{Gmb \cdot Ps}{Gsb} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan

- Gmb : Berat Jenis *Bulk* Campuran
- Gsb : Berat Jenis Efektif Agregat
- Ps : Jumlah Agregat, % terhadap Total Berat Campuran
- VMA : Pori Butir agregat di dalam beton aspal, % dari volume *bulk* beton aspal

4. Rongga di dalam campuran (VIM)

Banyaknya rongga atau pori yang berada dalam beton aspal padat (VIM) adalah jumlah pori antara butiran batuan yang tertutup aspal. VIM dinyatakan sebagai persentase volume beton aspal padat.

$$VIM = 100 \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan

- Gmm : Berat Jenis Maksimum Campuran
- Gmb : Berat Jenis *Bulk* Campuran
- VIM : Rongga udara dalam, persentase terhadap volume campuran

## 5. Rongga terisi aspal (VFB).

Jumlah rongga antara butir agregat (VMA) didalam beton aspal padat yang diisi aspal dinyatakan sebagai VMA. Persentase rongga antara butiran agregat bitumen disebut VFB. VFB merupakan bagian dari VMA yang diisi dengan bitumen, tidak termasuk aspal, yang diserap oleh setiap butir agregat. Jadi aspal yang memenuhi VFB adalah persentase volume beton aspal padat yang menjadi membran atau perkerasan aspal. Perhitungannya didasarkan pada volume beton aspal yang padat (Gadpalliwar et al., 2018).

$$VFB = \frac{100.(VMA-VIM)}{VMA} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan

VIM : Rongga udara dalam, persentase terhadap volume campuran

VMA : Pori butir agregat di dalam beton aspal, % dari volume bulk beton aspal

VFB : Pori antar butir agregat yang terisi aspal, % dari VMA

## 2.6. Penentuan Kadar Aspal Optimum

Penentu kadar aspal optimum menurut SNI-06-2490-1991 dengan rumus sebagai berikut:

$$B = \frac{(1-W2) - (W3+W4)}{VMAW1-W2} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan

B : Kadar aspal, dinyatakan dalam %

W1 : Berat benda uji, dinyatakan dalam gram.

W2 : Berat air dalam benda uji, dinyatakan dalam gram.

W3 : Berat mineral hasil ekstraksi, dinyatakan dalam gram.

W4 : Berat mineral halus yang tertinggal dalam filtrat, dinyatakan dalam gram.

## 2.7. Laston Lapis Aus (AC-WC)

Laston Lapis Aus (AC-WC) adalah lapisan penutup bernilai struktural yang digunakan dalam konstruksi perkerasan jalan. Agregat bergradasi kontinu dan aspal keras dicampur, disebar, dan juga dipadatkan pada suhu tertentu untuk membuat campuran ini. Laston adalah lapisan aspal keras dan agregat yang digunakan untuk

membangun sebuah jalan. Itu dicampur, disebar, dan dipadatkan pada suhu tertentu untuk menciptakan gradasi yang berkelanjutan. Ada beberapa jenis beton aspal campuran panas, tetapi AC-BC dan AC-WC adalah yang diteliti dalam penelitian ini. Lapisan di bawah lapisan keausan adalah Laston sebagai lapisan pengikat (*Binder Course*). Meski tidak dipengaruhi cuaca secara langsung, roda kendaraan harus memiliki ketebalan nominal minimal 5 sentimeter agar dapat menopang beban lalu lintas.

Sebaliknya, Laston sebagai lapisan keausan (*Wearing Course*) merupakan lapisan perkerasan yang memiliki kekasaran yang dipersyaratkan dan tebal nominal minimal 4 cm. Ini tahan air, tahan cuaca, dan terkait dengan ban kendaraan. Berupa beban kendaraan (gaya vertikal), gaya rem (gaya horizontal), dan hembusan roda kendaraan (getaran), lapisan-lapisan ini berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan-lapisan di bawahnya. Setiap lapisan menerima beban yang berbeda karena bagaimana beban didistribusikan, dan semakin besar bebannya, semakin rendah bebannya. Lapisan atas, juga dikenal sebagai lapisan permukaan, harus mampu menangani segala jenis beban kerja. Akibatnya, lapisan permukaan melayani tujuan berikut:

- 1) Lapis perkerasan penahan beban roda, harus mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
- 2) Lapis kedap air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan dibawahnya dan melemahkan lapisan–lapisan tersebut.
- 3) Lapis aus, lapisan yang langsung menerima gesekan akibat gaya rem dari kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
- 4) Lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain yang ada di bawahnya.

Untuk dapat memenuhi fungsi-fungsi tersebut diatas, pada umumnya lapisan permukaan dibuat dengan menggunakan bahan pengikat aspal sehingga menghasilkan lapisan yang kedap terhadap air dengan stabilitas yang tinggi dan daya tahan yang lama.

Menurut (Rahim et al., n.d.), di dalam aspal tersusun atas dua jenis kimia yang dominan, yaitu *asphaltenes* dan *maltenes*. *Asphaltenes* adalah merupakan senyawa berwarna hitam atau coklat tua yang mengandung *Carbon*, *Hidrogen*, sedikit

*Nitrogen, Sulfur* dan oksigen. Senyawa *Asphaltenes* yang tinggi akan menyebabkan aspal menjadi keras ditunjukkan dengan nilai penetrasi yang rendah. Biasanya kandungan *asphaltenes* berkisar antara 5%-25%. Sedang pada *Maltenes* mengandung senyawa *saturates, aromatic* dan *resins*. Kandungan *resins* dalam aspal ini akan menyebabkan adhesi aspal menjadi lebih kuat. *Aromatic* adalah molekul aspal yang paling ringan dan paling banyak terkandung dalam aspal yaitu pada kisaran 40% - 65%. *Saturates* bersama-sama dengan *Alkaline Neptane* dan sedikit *Alkaline Aromatic* merupakan cairan minyak non-polar berwarna putih bening.

## **2.8. Material Penyusun Perkerasan Jalan**

Agregat adalah batu pecah, kerikil, pasir atau bahan galian alam dan buatan lainnya yang berupa mineral padat dalam ukuran besar atau kecil atau pecahan. Agregat merupakan komponen terpenting dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90- 95% agregat berat atau 75-85% agregat volume. Oleh karena itu, kualitas perkerasan juga ditentukan oleh sifat-sifat agregat dan hasil pencampuran agregat dengan material lain. Sifat-sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu daya dukung dan ketahanan cuaca permukaan jalan. Agregat dengan kadar void yang tinggi membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak karena banyaknya aspal yang terserap menghasilkan aspal yang lebih tipis. Penentuan jumlah pori ditentukan oleh jumlah air yang terserap dalam agregat. (Jaya et al., 2019)

## **2.9. Spesifikasi Gradasi Agregat Lapis AC-WC**

Sifat agregat menentukan kualitasnya sebagai bahan material perkerasan jalan, dimana agregat itu sendiri merupakan bahan yang kaku dan keras. Agregat dengan kualitas dan mutu yang baik dibutuhkan untuk lapisan permukaan yang langsung memikul beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan dibawahnya.

Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi:

### 2.9.1. Aspal

Aspal pada umumnya harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan sesuai dengan ketentuan yang ada, seperti tertera dalam **Tabel 2.4**.

**Tabel 2.4.** Spesifikasi Pengujian Aspal

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Persyaratan
1	Penetrasi, 25°C, 100 gr, 5	SNI 06-2456-1991	50-80
2	Titik lembek	SNI 06-2434-1991	≥ 54
3	Indeks penetrasi	-	≥ -1,0
4	Daktilasi pada 25°C (cm)	SNI 06-2432-1991	≥ 150
5	Titik nyala	SNI 06-2433-1991	≥ 232
6	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	≥ 1,0
7	Berat yang hilang	SNI 06-2440-1991	≥ 0,8

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

Aspal atau bitumen merupakan material yang berwarna hitam kecoklatan yang bersifat viskolastis sehingga akan melunak dan mencair. Sifat viskolastis inilah yang membuat aspal dapat menyelimuti dan menahan agregat pada tempatnya selama produksi dan masa pelayanan konstruksi jalan, Pada dasarnya aspal terbuat dari suatu rantai hidrokarbon yang disebut bitmen.

### 2.9.2. Penentuan kadar aspal optimum dengan metode *marshall*

Pengujian *Marshall* adalah metode laboratorium perkerasan jalan paling umum atau biasa untuk digunakan untuk memeriksa kinerja campuran panas (*hot mix*) yaitu dengan mendapatkan nilai stabilitas dan kelelahan plastis atau *flow* campuran beraspal dengan menggunakan alat *Marshall*. Konsep ini dikembangkan oleh Bruce *Marshall* pada tahun 1939, seorang insinyur bahan aspal bersama dengan *The Mississippi State Highway Department*. Kemudian penelitian ini dilanjutkan oleh *The U.S. Army Corps of Engineers*, dengan lebih ekstensif dan menambah kelengkapan pada prosedur pengujian *Marshall* dan akhirnya mengembangkan kriteria rancangan campuran.

Agregat dan aspal dipadatkan pada suhu 280 30 centistokes (cst) dan dipanaskan sampai viskositas 170 20 centistokes (cst) untuk keperluan pencampuran. *Marshall Compaction Hammer* adalah alat yang digunakan dalam proses pemadatan (Gambar 2.1). Pada laju pembebanan konstan 51 mm/menit, benda uji berbentuk

silinder dengan tinggi 64 mm dan diameter 102 mm diuji hingga gagal pada temperatur 60°C 1°C. Stabilitas *Marshall* adalah beban maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji sebelum dihancurkan, dan aliran *Marshall* adalah besarnya deformasi yang terjadi pada benda uji sebelum dihancurkan. *Marshall Quotient*, yang merupakan ukuran ketahanan material terhadap deformasi, dibandingkan dengan stabilitas dan aliran. permanen. Mesin uji *Marshall* adalah alat yang digunakan, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.1**.



**Gambar 2.1.** *Marshall Compaction Hammer & Alat Marshall Test*

Kepadatan, stabilitas, kelelahan, *Marshall Quotient* (MQ), persentase rongga dalam campuran (VIM), persentase rongga yang diisi dengan aspal (VFB), dan persentase rongga (VMA) dalam agregat berasal dari uji *Marshall*.

### 2.9.3. Pengikat Bitumen

Permukaan trotoar di seluruh dunia memiliki sejarah panjang menggunakan aspal sebagai pengikat di aspal campuran. Bitumen sendiri adalah produk rumahan dari pemurnian minyak mentah untuk produksi gas minyak bumi, bahan bakar minyak bumi, bahan bakar diesel dan minyak pelumas. Residu dari yang kedua penyulingan minyak mentah termasuk aspal, yang kemudian dipisahkan dan diproses untuk dijual di industri konstruksi trotoar jalan, bandara, dan pelabuhan, serta produksi *herpes zoster* atap dan produk lainnya.

Secara tradisional, produksi aspal menggunakan aspal yang tidak dimodifikasi, biasanya dinilai sesuai dengan viskositas atau ketahanan terhadap penetrasi beban pada suhu tertentu. Namun, sebagaimana diperlukan sifat rekayasa campuran aspal meningkat dari waktu ke waktu, polimer, asam dan lainnya aditif dimasukkan untuk

meningkatkan ketahanan campuran aspal ke suhu tinggi deformasi, retak suhu rendah dan kerusakan kelembapan. Secara tradisional, produksi aspal menggunakan aspal yang tidak dimodifikasi, biasanya dinilai sesuai dengan viskositas atau ketahanan terhadap penetrasi beban pada suhu tertentu. Namun, sebagaimana diperlukan Seperti banyak negara, baik Australia dan Inggris terutama menggunakan aspal atau polimer yang tidak dimodifikasi aspal yang dimodifikasi sebagai pengikat dalam campuran aspal. Inggris mempertahankan penilaian penetrasi sistem untuk aspal yang tidak dimodifikasi sementara Australia menggunakan penilaian berbasis viskositas. Namun viskositas dan penetrasi umumnya terkait secara terbalik dan nilai yang biasanya setara adalah dirangkum dalam Tabel 2.5, meskipun ada tumpang tindih yang signifikan antara nilai Gambar 2.3. dengan hubungan bervariasi di antara sumber. Penilaian aspal modifikasi polimer (PMB) lebih banyak kompleks dan banyak negara beralih ke sistem *Performance Grading* (GP) dikembangkan di Amerika Serikat (FHA 2011). Namun, Australia mempertahankan sistem nilai PMB berdasarkan properti produksi yang menunjukkan jenis dan persentase polimer (Putih 2017). Bagi aplikasi berkinerja tinggi, A10E dan A35P adalah PMB elastomerik dan plastomerik umum untuk produksi aspal di Australia. Meskipun kandungan aspal biasanya hanya 5- 6%, pengikat mencerminkan sekitar 60% dari biaya bahan baku di aspal dan penggantian aspal parsial dengan produk *by-products* dan limbah menghadirkan manfaat biaya yang signifikan di mana kinerja campuran tidak terpengaruh secara merugikan.

#### 2.9.4. *Generally Equivalent Common Graded of Unmodified Bitumen*

<i>Viscosity Grade (Pa.s at 60°C)</i>	<i>Generally equivalent Penetration Grade (0.1 mm at 25°C)</i>
C170 (140-180)	70/100
C320 (260-360)	40/60
C600 (500-700)	30/45

## 2.10. Sifat Bahan *Aggregate Asphalt Wearing Coarse*

Aspal *Wearing Coarse* adalah Aspal *Wearing* dengan gradasi senjang dengan Agregat lolos saringan No.16.

### 2.10.1. Fraksi Agregat Kasar

Agregat kasar yang tertahan pada ayakan 4,75 mm harus terdiri dari partikel atau pecahan batu keras dan awet. Bahan Pecah apabila berulang-ulang dibasahi dan dikeringkan tidak boleh digunakan.

### 2.10.2. Fraksi Agregat Halus

Agregat halus yang tertahan pada ayakan 4,75 mm harus terdiri dari partikel pasir alami atau batu pecah halus dan partikel halus lainnya yang memenuhi persyaratan.

### 2.10.3. Sifat Bahan yang Disyaratkan

Seluruh bahan agregat harus terlepas dari bahan organik dan atau gumpalan lempung atau bahan-bahan lain yang tidak dikehendaki dan setelah dipadatkan harus memenuhi ketentuan gradasi (menggunakan ayakan secara basah) dan memenuhi syarat-syarat yang telah ditentukan berdasarkan tabel dibawah ini.

**Tabel 2.5.** Gradasi Agregat Lapis Drainase untuk *Wearing Coarse*

Ukuran Ayakan		Persen Berat Yang Lolos			
		Lapis Fonasi Agregat			Lapis Drainase
ASTM	mm	Kelas A	Kelas B	Kelas S	
2"	50.0	100	100		
1½"	37.5	100	88 - 95	100	100
1"	25.0	79 - 85	70 - 85	77 - 89	71 - 87
¾"	19.0				58 - 74
½"	12.5				44 - 60
3/8"	9.5	44 - 58	30 - 65	41 - 66	34 - 50
No.4	4.75	29 - 44	25 - 55	26 - 54	19 - 31
No.8	2.36				8 - 16'
No.10	2.0	17 - 30	15 - 40	15 - 42	
No.16	1.18				0 - 4
No.40	0.425	7 - 17'	8 - 20'	7 - 26'	
No.200	0.075	2 - 8'	2 - 8'	4 - 16'	

(Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Divisi 5 Hal 5)

**Tabel 2.6.** Sifat-sifat Agregat Lapis Drainase untuk Wearing Coarse

Sifat-sifat	Lapis Fondasi Agregat			Lapis Drainase
	Kelas A	Kelas B	Kelas S	
Abrasi dari Agregat Kasar (SNI 2417:2008)	0 - 40%	0 - 40%	0 - 40%	0 - 40%
Butiran pecah, tertahan ayakan No.4 (SNI 7619:2012)	95/90	55/50	55/50	80/75
Batas Cair (SNI 1967:2008)	0 - 25	0 - 35	0 - 35	-
Indeks Plastisitas (SNI 1966:2008)	0 - 6	4 - 10'	4 - 15'	-
Hasil kali Indek Plastisitas dengan % Lolos Ayakan No.200	maks.25	-	-	-
Gumpalan Lempung dan Butiran-butiran Mudah Pecah (SNI 4141:2015)	0 - 5%	0 - 5%	0 - 5%	0 - 5%
CBR rendaman (SNI 1744:2012)	min.90 %	min.60 %	min.50%	-
Perbandingan Persen Lolos Ayakan No.200 dan No.40	maks.2/3	maks.2/3	-	-
Koefisien Keseragaman: $C_v = D_{60}/D_{10}$	-	-	-	> 3.5

(Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Divisi 5 Hal 6)

#### 2.10.4. Pencampuran Bahan

Pencampuran bahan untuk memenuhi ketentuan yang telah disyaratkan harus dikerjakan dilokasi *stone crusher* (pemecah batu) yang telah memiliki standart pemecahan dengan menggunakan pemasok mekanis (*mechanical Feeder*) yang telah dikalibrasi untuk memperoleh aliran yang menerus dari komponen campuran dengan proporsi yang benar dan dalam keadaan apapun tidak dibenarkan melakukan pencampuran dilapangan.

#### 2.11. Lapisan Pengikat

Lapis Pengikat mencangkup penyediaan dan penghamparan bahan aspal pada permukaan yang telah disiapkan. Lapis pengikat dihampar diatas permukaan pondasi tanpa bahan pengikat lapis pondasi agregat.

1. Cuaca yang diijinkan untuk bekerja

Lapis pengikat harus dilaksanakan pada permukaan yang kering dan benar – benar kering. Pelaksanaan Lapis pengikat tidak boleh dilaksanakan saat angin kencang, hujan atau akan turun hujan.

2. Kesiapan Pekerjaan

Kesiapan pekerjaan lapis pengikat meliputi beberapa hal sebagai berikut:

- a. Lima liter contoh dari setiap bahan yang diusulkan dalam pekerjaan dilengkapi dengan sertifikat dari pembuatnya dan hasil pengujian yang disyaratkan.
- b. Catatan kalibrasi dari semua instrumen dan meteran ukur serta tongkat celup ukur untuk aspal distributor. Tongkat celup ukur, alat instrumen dan harus dikalibrasi memenuhi akurasi, toleransi ketelitian memenuhi spesifikasi serta tanggal pelaksanaan kalibrasi harus tidak melebihi satu tahun sebelum pelaksanaan dilakukan.
- c. Laporan harian untuk pekerjaan yang lakukan dan takaran pemakaian bahan harus memenuhi spesifikasi.



## 2.12. Peneliti Terkait/sejenis

**Tabel 2.7.** Peneliti Terkait

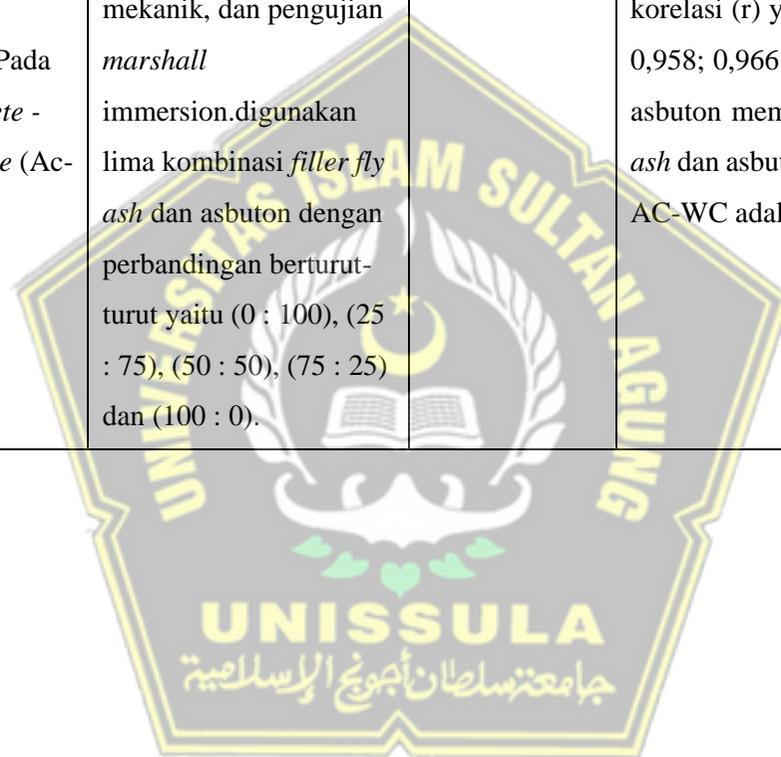
PENELITI	JUDUL	METODE	VARIABEL	HASIL
M.Sa'dillah Arinda Leliana Teknik Sipil, Teknik, Universitas Tribhuwana Tunggadewi (2020).	Karakteristik Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Dengan Penambahan Bahan Pengisi Abu Terbang	Pengujian <i>Marshall</i> dengan variasi kadar <i>filler</i> 5%, 6%, 7%, 8%, 9%.	Abu terbang ( <i>fly ash</i> )	Dari hasil pengujian, penambahan <i>filler</i> abu terbang batubara terjadi peningkatan stabilitas. Dimana nilai stabilitas tertinggi pada kadar 7% dengan nilai 1472,51 Kg. Semakin ditambahkan kadar <i>filler</i> maka nilai stabilitas juga semakin meningkat. Nilai VIM dan VMA hampir memenuhi seluruh spesifikasi kecuali pada kadar 5% dan 6%. Kadar campuran optimum (KAO) yang memenuhi seluruh spesifikasi pada pengujian ini terdapat pada kadar 8%.
Ahmad Uwwes Al Qurny, Imam Hagni Puspito, Nuryani Tinumbia, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pancasila, Jakarta (2022).	Pengaruh Penambahan Bahan Pengisi ( <i>Filler</i> ) <i>Fly ash</i> Terhadap Campuran Aspal Beton Lapis Aus ( <i>Asphalt Concrete</i>	Metode eksperimental dengan alat uji <i>marshall</i> <i>test</i> . 3 Sampel Untuk Tiap Kadar Aspal (5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7%) dan persentase <i>filler</i> (1%, 1,5% dan 2%).	Abu terbang ( <i>fly ash</i> )	Persentase abu batu bara yang baik digunakan adalah 2% (dilihat dari karakteristik <i>marshall</i> ), didapatkan KAO untuk campuran aspal normal (6,65%), untuk campuran aspal dengan penambahan abu batu bara 1% (6,90%); 1,5% (6,90%); dan 2% (6,95%).

	<i>Wearing Course/Ac-Wc)</i>			
Hermansyah, Bambang Wansa Putra, Opan Wawan Widiansyah, Universitas Teknologi Sumbawa (2022).	Meningkatkan Nilai Rongga Stabilitas Dan <i>Flow</i> Campuran Aspal HRS-WC Dengan Memanfaatkan 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%.	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 drastis. Pada nilai VIM, VMA, VFA, Stabilitas, <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 kadar abu sekam yang lainnya.
Ridwan Hadi Rianto, Universitas Diponegoro Semarang (2007).	Pengaruh Abu Sekam Sebagai Bahan <i>Filler</i> Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Emulsi Bergradasi Rapat (Cebr)	Menggunakan pengujian Modified <i>Marshall test</i> . Variasi kadar aspal yang digunakan adalah 8, 9, 10, dan 11 %, sementara variasi kadar <i>filler</i> yang digunakan adalah 4, 4,5 dan 5,5 %.	Abu sekam padi	Nilai densitas kering maksimum sebesar 2,07 gr/cc dan nilai kerapatan basah mencapai 2,13 gr/cc, Nilai VMA minimum sebesar 8,59 %, Tingkat penyerapan air oleh campuran minimum sebesar 2,12 %, Tingkat kelelehan plastis minimum mencapai 3,92 mm, Nilai stabilitas kering maksimum sebesar 894,3 kg, Stabilitas basah maksimum sebesar 814,4 kg dan stabilitas sisa minimumnya sebesar 91,06 %. Nilai-nilai parameter kerjanya memenuhi persyaratan Bina Marga (VMA 5

				% – 10 %, Penyerapan air < 4 %, Stabilitas rendaman > 300 kg, dan Stabilitas sisa > 50 %).
Beny Setiawan, M.T. Jurusan Teknik Sipil, Universitas Pahlawan Tuanku Tambusai (2022).	Analisis Perbandingan Karakteristik Perkerasan Jalan Raya AC-BC Menggunakan Abu Sekam Padi Sebagai <i>Filler</i> Alternatif	Menggunakan pengujian <i>marshall</i> test dengan variasi penambahan ASP mulai dari 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2%.	Abu sekam padi	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.
Nopriwanda Syahputra, Alfian Malik, Mardani Sebayang, Fakultas Teknik, Universitas Riau (2019).	Penggunaan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pengisi ( <i>Filler</i> ) Dalam Campuran Aspal Jenis Ac-Wc Dengan Pengujian <i>Marshall</i>	Menggunakan metode pengujian <i>Marshall</i> Test dengan kadar aspal yang digunakan 5%, 5,5 %, 6%, 6,5% dan 7%. Dan menggunakan kadar abu sekam padi 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8%.	Abu sekam padi	Kadar <i>filler</i> abu sekam padi optimum untuk campuran AC-WC yaitu 6% dengan kadar aspal optimum yaitu 6,40% karena memiliki nilai stabilitas, <i>flow</i> , VIM, VMA, VFA, MQ yang lebih baik dari pada persentase kadar <i>filler</i> abu sekam padi lainnya. Kadar <i>filler</i> 8% tidak dapat digunakan karena nilai karakteristik <i>Marshall</i> tidak memenuhi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3. Untuk kadar <i>filler</i> 0% dan 2%, walaupun tidak memenuhi spesifikasi, tetapi hasil pengujian karakteristik <i>Marshall</i> dari kadar <i>filler</i> 0% dan 2% sudah memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3.

<p>Lia Wahyuningsih, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Jogjakarta (2007).</p>	<p>Komparasi Penggunaan <i>Filler Fly ash</i> (Abu Terbang Batu Bara), <i>Filler</i> Abu Sekam Padi (Rice Husk Ash), Dan <i>Filler</i> Abu Batu Pada Kinerja Lapis Aspal Beton (Laston)</p>	<p>Metode pengujian dengan menggunakan kadar <i>filler</i> 8% dan variasi kadar aspal interval 2% yaitu 4% sampai dengan 8%. Metode pengujian yang digunakan yaitu <i>Marshall</i> Test dan <i>Immersion</i> Test.</p>	<p><i>Filler fly ash</i>, <i>filler</i> abu sekam padi, <i>filler</i> abu batu, lapis aspal beton.</p>	<p>Dari hasil penelitian ini diperoleh kadar aspal optimum campuran dengan <i>filler</i> abu batu 7,305%, kadar aspal optimum campuran dengan <i>filler fly ash</i> 4,8%, dan kadar aspal optimum campuran dengan <i>filler</i> abu sekam padi 7,685%. Abu sekam padi dan <i>fly ash</i> dapat digunakan sebagai <i>filler</i> pada campuran LASTON dengan kadar aspal tertentu.</p>
<p>Zairipan Jaya1 , Edi Majuar2 , Fauzi A. Gani3 , Irham4 , Gina Putri Yuanda, Jurusan Tekniknologi Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe (2021).</p>	<p>Pemanfaatan <i>Fly ash</i> Batubara Kelas C Sebagai <i>Filler</i> Untuk Meningkatkan Kekuatan Aspal Beton Porus</p>	<p>Menggunakan pengujian <i>marshall</i> test dengan variasi kadar <i>filler fly ash</i> kelas C yaitu 2%, 2,5%, 3%, 3,5%, dan 4%.</p>	<p><i>Filler fly ash</i></p>	<p>Hasil uji permeabilitas dengan menggunakan <i>filler fly ash</i> Kelas C pada KAO berpengaruh pada penurunan kemampuan benda uji meloloskan air dari permukaan aspal, sehingga waktu pengaliran semakin lama. Persentase penggunaan <i>filler</i> terbaik adalah pada penggunaan <i>filler</i> 2% pada campuran aspal beton porus.</p>

<p>Desi Hari Buanti, Fakultas Teknik Universitas Mataram (2018).</p>	<p>Analisis Pengaruh Penggunaan <i>Fly ash</i> Dan Asbuton Sebagai <i>Filler</i> Pada <i>Asphalt Concrete - Wearing Course</i> (Ac- Wc)</p>	<p>Menggunakan pengujian volumetrik, pengujian mekanik, dan pengujian <i>marshall</i> immersion.digunakan lima kombinasi <i>filler fly ash</i> dan asbuton dengan perbandingan berturut- turut yaitu (0 : 100), (25 : 75), (50 : 50), (75 : 25) dan (100 : 0).</p>	<p><i>Fly ash</i>, asbuton.</p>	<p>Pengaruh penggunaan <i>fly ash</i> dan asbuton sebagai <i>filler</i> terhadap nilai pemeriksaan volumetrik (VIM, VMA, VFB) memiliki korelasi (r) yang sangat kuat yaitu berturut-turut sebesar 0,933; 0,958; 0,966 dan semua persentase kombinasi <i>filler fly ash</i> dan asbuton memenuhi persyaratan. Persentase kombinasi <i>filler fly ash</i> dan asbuton yang optimum digunakan pada campuran laston AC-WC adalah 75% <i>fly ash</i>: 25% asbuton</p>
--	---	--	-------------------------------------	--



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Tipe Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah metode eksperimen. Metode eksperimen adalah metode penelitian yang digunakan untuk meneliti tentang pengaruh perlakuan atau perlakuan terhadap subjek penelitian. Dalam penelitian ini, eksperimen dilakukan di laboratorium Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang dengan tujuan untuk memperoleh data yang dapat diolah dengan tujuan pengembangan limbah.

Kegiatan penelitian ini menggunakan bahan non fungsi atau limbah berupa *Fly Ash* dan abu sekam padi yang mana akan menjadi substitusi dan campuran dari agregat halus dan *filler* yang mana masing-masing campuran pada penelitian ini dilakukan dengan berdasarkan sistem *pencampuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* dengan prosedur persyaratan pemeriksaan Bina Marga.

#### 3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian

##### 3.2.1. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- a) Agregat kasar, halus, filler diperoleh dari hasil pemecahan batu (*stonecrusher*) di AMP (*Asphalt Mixing Plant*) PT. Adhimix RMC Indonesia - Plant Kaligawe Semarang.
- b) Bahan aspal menggunakan Aspal Pertamina Penetrasi 60/70 berasal dari PT. Deltamarga Adyatama Kudus, Area Sawah, Tjunglejo, Kec. Jekulo, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah.
- c) Bahan *Fly Ash* yang menjadi objek penelitian adalah hasil pembakaran batu bara yang diambil dari PLTU Tanjung Jati B (TJB) yang terletak di Jepara, Jawa Tengah dengan kadar yang dibutuhkan untuk *job mix* adalah 0%, 10%, 20%, 30%, 0%, 40% dan 50% untuk masing-masing benda uji.
- d) Abu Sekam Padi didapatkan dari hasil pembakaran limbah sekam padi yang diharapkan akan meningkatkan karakteristik campuran aspal digunakan kadar 0%, 0%, 0,25%, 0,5%, 1%, 1,5% dan 2%.

### 3.2.2. Peralatan Penelitian

a. Alat penguji agregat dan *filler*

Mesin *Los Angeles* (untuk uji abrasi), saringan standar (untuk penilaian agregat), pengering (untuk oven), timbangan berat, alat uji berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas), dan tabung (setara pasir) adalah beberapa alat yang digunakan untuk pengujian agregat.

b. Alat penguji aspal

Peralatan pengujian aspal meliputi: alat uji penetrasi, alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan), alat uji titik nyala, alat uji titik lembek, dan alat uji daktilitas.

c. Alat pengujian campuran metode *Marshall*

Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode *Marshall*, meliputi :

- 1) Alat tekan *Marshall* yang terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 3000 kg (6000 lbs) yang dilengkapi dengan arloji pengukur kelelahan plastis (*flow meter*).
- 2) Alat cetak benda uji berbentuk silinder diameter 10,2 cm (4 inci) dengan tinggi 7,5 cm (3 inci) untuk *Marshall* standar dan diameter 15,24 cm (6 inci) dengan tinggi 9,52 cm untuk *Marshall* modifikasi dan dilengkapi dengan plat dan leher sambung.
- 3) Penumbuk manual yang mempunyai permukaan rata berbentuk silinder dengan diameter 9,8 cm (3,86 inci), berat 4,5 kg (10 lbs), dengan tinggi jatuh bebas 45,7 cm (18 inci) untuk *Marshall* standar.
- 4) Ejektor untuk mengeluarkan benda uji setelah dipadatkan.
- 5) Bak perendaman (*water bath*) yang dilengkapi pengatur suhu.

### 3.2.3. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)

Komposisi aspal yang direncanakan yaitu dengan cara mensubstitusikan *Fly Ash* dengan kadar 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% dari total keseluruhan semen. Sedangkan substitusi abu sekam padi dari total keseluruhan abu batu dengan kadar 0%, 0%, 0,25%, 0,5%, 1%, 1,5% dan 2%.

**Tabel 3.1.** Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Komposisi Normal

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 gram
2	Pasir	3%	36 gram
3	<i>Medium Aggregate</i> (1/2)	25%	300 gram
4	<i>Coarse Aggregate</i> (3/4)	25%	300 gram
5	<i>Filler</i>	1,2%	14,4 gram
6	Aspal	5,8%	69,6 gram
		100%	1200 gram

**Tabel 3.2.** Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Komposisi *Fly Ash* 10% + *Filler* 90% dan Abu Batu 100% + Abu Sekam Padi 0%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 gram
2	Pasir	3%	36 gram
3	<i>Medium Aggregate</i> (1/2)	25%	300 gram
4	<i>Coarse Aggregate</i> (3/4)	25%	300 gram
5	<i>Filler</i>	1,08%	12,96 gram
6	Aspal	5,8%	69,6 gram
7	Abu Sekam Padi	0%	0 gram
8	<i>Fly Ash</i>	0,12%	1,44 gram
		100%	1200 gram

**Tabel 3.3.** Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Komposisi *Fly Ash* 20% + *Filler* 80% dan Abu Batu 99,75% + Abu Sekam Padi 0,25%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	39,9%	478,8 gram
2	Pasir	3%	36 gram
3	<i>Medium Aggregate</i> (1/2)	25%	300 gram
4	<i>Coarse Aggregate</i> (3/4)	25%	300 gram
5	<i>Filler</i>	0,96%	11,52 gram
6	Aspal	5,8%	69,6 gram
7	Abu Sekam Padi	0,1%	1,2 gram
8	<i>Fly Ash</i>	0,24%	2,88 gram
		100%	1200 gram

**Tabel 3.4.** Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Komposisi *Fly Ash* 30% + *Filler* 70% dan Abu Batu 99,5% + Abu Sekam Padi 0,5%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	39,8%	477,6 gram
2	Pasir	3%	36 gram
3	<i>Medium Aggregate</i> (1/2)	25%	300 gram
4	<i>Coarse Aggregate</i> (3/4)	25%	300 gram
5	<i>Filler</i>	0,84%	10,08 gram
6	Aspal	5,8%	69,6 gram
7	Abu Sekam Padi	0,2%	2,4 gram
8	<i>Fly Ash</i>	0,36%	4,32 gram
		100%	1200 gram

**Tabel 3.5.** Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Komposisi *Fly Ash* 0% + *Filler* 100% dan Abu Batu 99% + Abu Sekam Padi 1%

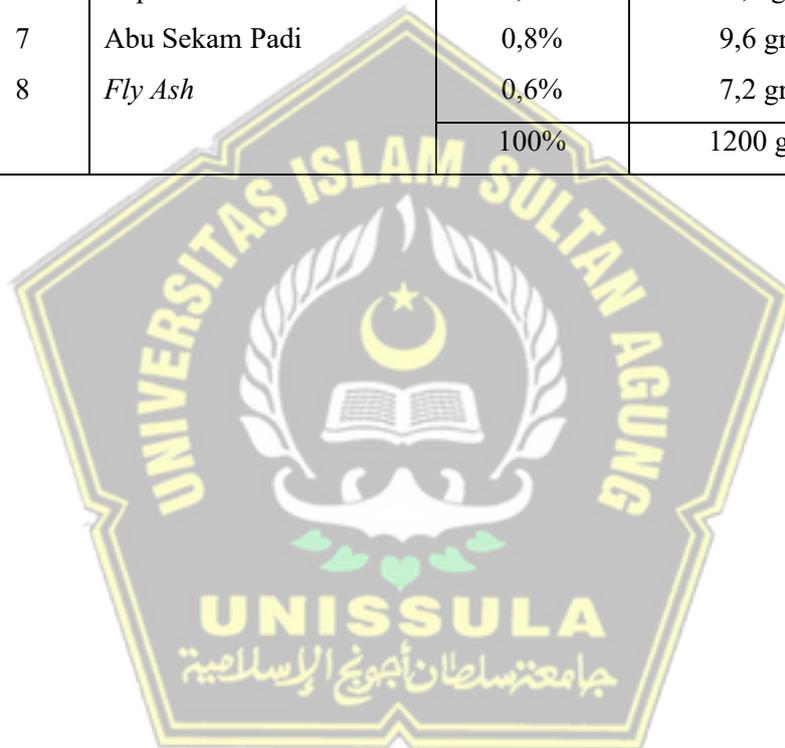
No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	39,6%	475,5 gram
2	Pasir	3%	36 gram
3	<i>Medium Aggregate</i> (1/2)	25%	300 gram
4	<i>Coarse Aggregate</i> (3/4)	25%	300 gram
5	<i>Filler</i>	1,2%	14,4 gram
6	Aspal	5,8%	69,6 gram
7	Abu Sekam Padi	0,4%	4,8 gram
8	<i>Fly Ash</i>	0%	0 gram
		100%	1200 gram

**Tabel 3.6.** Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Komposisi *Fly Ash* 40% + *Filler* 60% dan Abu Batu 98,5% + Abu Sekam Padi 1,5%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	39,4%	472,8 gram
2	Pasir	3%	36 gram
3	<i>Medium Aggregate</i> (1/2)	25%	300 gram
4	<i>Coarse Aggregate</i> (3/4)	25%	300 gram
5	<i>Filler</i>	0,72%	8,64 gram
6	Aspal	5,8%	69,6 gram
7	Abu Sekam Padi	0,6%	7,2 gram
8	<i>Fly Ash</i>	0,48%	5,76 gram
		100%	1200 gram

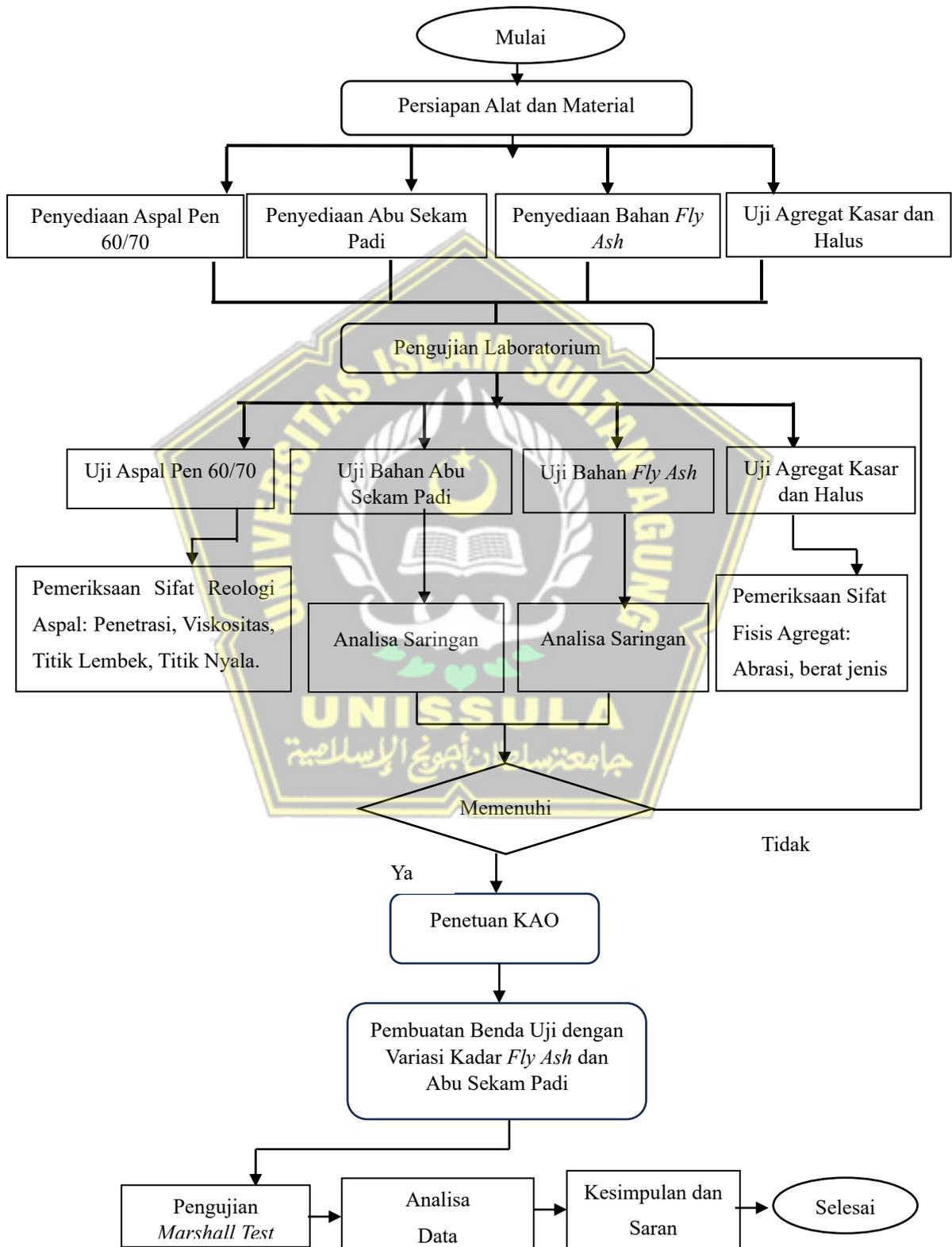
**Tabel 3.7.** Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Komposisi *Fly Ash* 50% + *Filler* 50% dan Abu Batu 98% + Abu Sekam Padi 2%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	39,2%	470,4 gram
2	Pasir	3%	36 gram
3	<i>Medium Aggregate</i> (1/2)	25%	300 gram
4	<i>Coarse Aggregate</i> (3/4)	25%	300 gram
5	<i>Filler</i>	0,6%	7,2 gram
6	Aspal	5,8%	69,6 gram
7	Abu Sekam Padi	0,8%	9,6 gram
8	<i>Fly Ash</i>	0,6%	7,2 gram
		100%	1200 gram



### 3.3. Rancangan dan Pelaksanaan Penelitian

Bagan alir penelitian berupa tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan selama penelitian ini dijelaskan pada **Gambar 3.1**.



### 3.4. Bagan Alir Program Kerja 3.1

Pada tahap awal dilakukan penelitian literatur dan pengolahan alat dan bahan yang digunakan. Bahan campuran aspal diperiksa untuk memenuhi persyaratan yang telah ditentukan sesuai dengan acuan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan *American Society for Testing Materials* (ASTM). Pemeriksaan agregat kasar dan halus meliputi hal-hal berikut:

- a. Berat jenis Agregat Kasar (berdasarkan SNI 1969:2008) dan Penyerapan Agregat Kasar (berdasarkan SNI 1969:2008).
- b. Tingkat Keausan Agregat Kasar (berdasarkan SNI 2417:2008).
- c. Partikel Pipih dan Lonjong (berdasarkan ASTM D 4791-95).
- d. Daya Lekat Agregat Terhadap Aspal (berdasarkan SNI-06-2439-1991).
- e. Soundness atau Uji Sifat Kekekalan Bentuk Agregat (berdasarkan SNI 3407:2008).
- f. Berat Jenis Agregat Halus (berdasarkan SNI 1970:2008) dan Penyerapan Agregat Halus (berdasarkan SNI 1970:2008).
- g. Analisis Butiran (berdasarkan SNI-M-02-1994-03).
- h. Untuk pengujian bahan bitumen atau aspal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu aspal Pertamina Pen 60/70. Pemeriksaan sifat fisik aspal yang dilakukan antara lain:
  - 1) Pemeriksaan penetrasi aspal (berdasarkan SNI 06-2456-1991).
  - 2) Pemeriksaan titik lembek (berdasarkan SNI 06-2434-1991).
  - 3) Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar (berdasarkan SNI 06-2433-1991).
  - 4) Pemeriksaan daktilitas (berdasarkan SNI 06-2432-1991).
  - 5) Pemeriksaan berat jenis bitumen (berdasarkan SNI 06-2441-1991).

Langkah selanjutnya adalah dengan merancang dan memproduksi sampel yang akan digunakan untuk penelitian dengan metode *Marshall* setelah semua bahan penyusun campuran aspal, termasuk agregat dan Asphalt Pertamina Pen 60/70, telah diuji dan memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Pengujian spesimen standar *Marshall* sesuai dengan prosedur SNI 06-2489-1991 (PA-0305-76, AASHTO T-44-81, dan ASTM D-2042-76). Memanfaatkan variasi kadar aspal, desain dan produksi benda uji campuran aspal. Berdasarkan perhitungan dengan

persamaan tersebut didapatkan  $P_b$  (kadar aspal tengah/ideal). Kadar aspal yang digunakan sebagai sampel adalah 5,8 % yang mana menggunakan 3 sampel pada setiap kombinasi benda uji.

Pengambilan sampel benda uji dilakukan setelah ditentukan komposisi campuran aspal. Temperatur dimana aspal memiliki viskositas kinematis 170/20 centistokes adalah temperatur campurannya dengan agregat, dan temperatur pemadatan aspal adalah temperatur dimana aspal memiliki viskositas kinematis 280/30 centistokes.

Menurut penelitian Prabowo (2003) dan Riyadi sebelumnya, suhu pencampuran umumnya ditemukan antara 145°C-155°C, dan suhu pemadatan ditemukan antara 110°C-135°C. Hal ini dikarenakan tidak dilakukannya pengujian viskositas kinematis aspal menggunakan Palu Pemadatan *Marshall*. Pemadatan dilakukan dua kali untuk setiap 75 ton beban lalu lintas. Spesimen dipadatkan dan disimpan pada suhu ruangan selama 24 jam sebelum ditimbang kering dan diukur tingginya. Untuk mendapatkan data *volumetric bituminous* (densitas, VIM, VMA, dan VFA), sampel direndam selama 10 menit di dalam *water bath* pada suhu 60°C, stabilitas leleh, dan *Marshall Quotient* diukur menggunakan alat *Marshall*. Setelah didapatkan data hasil uji *Marshall* berupa stabilitas, kelelahan, VIM, VMA, VFA, dan *Marshall Quotient*, kemudian dianalisis untuk mendapatkan komposisi campuran aspal ideal.

Setelah dilakukan serangkaian penelitian dan didapatkan data, maka tahapan selanjutnya adalah sebagai berikut :

- a. Menganalisis hasil pemeriksaan material campuran aspal yaitu agregat dan aspal apakah sesuai dengan spesifikasi Umum Bina Marga 2018.
- b. Menampilkan data nilai stabilitas (*stability*); kelelahan (*flow*); *Marshall Quotient* (MQ); *Void in Mix* (VIM); *Void in Mineral Aggregate* (VMA); *Void Filled with Asphalt* (VFA).

### 3.5. Aspal

*Aromat*, *Napathen*, dan *Alkan* merupakan senyawa yang paling banyak terdapat pada aspal yang merupakan senyawa hidrokarbon. Persyaratan spesifikasi didasarkan pada karakteristik aspal. Untuk menjamin tercapainya karakteristik aspal yang dipersyaratkan, digunakan ketentuan dan pengujian aspal sebagai berikut:

1. Pengambilan sampel aspal untuk bahan uji
2. Pengujian penetrasi
3. Pengujian titik lembek
4. Pengujian daktilitas
5. Pengujian titik nyala dan titik bakar

Metode atau prosedur pengujian-pengujian yang disebutkan di atas, diatur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk tiap jenis pengujian.

### **3.6. Sifat-Sifat Campuran Aspal**

#### **3.6.1. Stabilitas**

Faktor terpenting dalam aspal adalah stabilitas yang dapat menahan deformasi dan peleburan plastis yang disebabkan oleh beban lalu lintas statis dan dinamis, mencegah bekas roda, keriting, dan perubahan permukaan perkerasan jalan. Jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan melaju di jalan menentukan spesifikasi stabilitas perkerasan. Gesekan butiran, penguncian antar partikel, dan daya rekat yang unggul pada aspal semuanya berkontribusi pada stabilitas. Nilai stabilitas dalam kg atau KN.

#### **3.6.2. Kelelahan Plastis (*Flow*)**

Menyatakan besarnya penurunan (deformasi benda uji) campuran dengan angka kelelahan tinggi serta stabilitas rendah. Diatas batas maksimum akan cenderung bersifat plastis. Tapi bila campuran dengan angka kelelahan rendah dan stabilitas tinggi di bawah batas optimum akan cenderung bersifat getas dan mudah retak bila ada pembebanan.

#### **3.6.3. *Marshall Quotient***

*Marshall Quotient* membandingkan peleburan plastis dan stabilitas dalam kilogram per milimeter. Campuran dengan kestabilan yang tinggi dan pelelehan plastis yang rendah memiliki nilai MQ yang tinggi, menandakan bahwa campuran tersebut bersifat kaku. Hal ini memudahkan perkerasan untuk berubah bentuk saat dibebani oleh lalu lintas, yang dapat menyebabkan retak. Namun, campuran plastisitas tinggi

dan stabilitas rendah menghasilkan MQ rendah dan lebih cenderung plastis dan tidak stabil.

### **3.7. Laston Lapis Aus (AC-WC)**

Laston adalah lapisan penutup dengan nilai struktural yang digunakan untuk membangun perkerasan jalan. Agregat bergradasi kontinu dan aspal keras dicampur, disebar, dan dipadatkan pada suhu tertentu untuk membuat campuran ini. Pada konstruksi jalan, lapisan laston merupakan campuran aspal keras dan agregat dengan gradasi menerus yang dicampur, dihampar, dan dipadatkan pada temperatur tertentu.

Laston sebagai lapisan keausan (*Wearing Course*) merupakan lapisan perkerasan yang memiliki kekasaran yang dipersyaratkan dengan tebal minimal 4 cm. lapisan ini tahan air, cuaca dan terkait dengan ban kendaraan. Lapisan ini berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan-lapisan di bawahnya.

### **3.8. Metode Analisis**

Pada penelitian ini digunakan metode eksperimen di laboratorium yaitu melakukan percobaan terhadap bahan baku aspal dan agregat dari proses penelitian. Dilaksanakan dalam 6 tahap sebagai berikut (Indriani Santoso:2013).

#### **Tahap I : Persiapan**

Beberapa hal yang dilakukan dalam persiapan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan bahan seperti agregat, aspal.
2. Menyiapkan peralatan.
3. Menyiapkan form-form pengujian dan mengolah hasil pengujian.

#### **Tahap II : Pemeriksaan Bahan**

Pemeriksaan agregat dilakukan meliputi :

- a. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan halus.
- b. Pemeriksaan analisa saringan agregat kasar dan halus.
- c. Pemeriksaan berat jenis aspal.

- d. Pemeriksaan penetrasi.
- e. Pemeriksaan titik lembek.
- f. Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar.
- g. Pemeriksaan daktilitas.

**Tahap III :**

1. Perancangan *Filler* menggunakan *Fly Ash* dan semen portland dengan kadar yang dibutuhkan untuk campuran (*mix design*) adalah 1,2% untuk masing-masing benda uji.
2. Perancangan campuran abu batu dan abu sekam padi dengan kadar yang dibutuhkan untuk campuran adalah 40% untuk masing-masing benda uji.
3. Perancangan campuran (*mix design*) pada tahap ini dilakukan perencanaan campuran dan pembuatan benda uji dengan kadar aspal 5,8% untuk menentukan kadar aspal optimum.

**Tahap IV :**

Tes *Marshall* untuk menemukan jumlah aspal terbaik. Uji *Marshall* dilakukan pada benda uji dengan kadar aspal yang bervariasi pada titik ini untuk mendapatkan data kestabilan dan aliran. Sebelum ini, spesimen telah ditimbang berat kering, berat SSD dan berat sampel dalam air.

**Tahap V :**

Dilakukan pengujian dan Analisa *Marshall* untuk mengetahui stabilitas *Marshall*, *flow* (kelelahan plastis), ronggan dalam campuran, rongga dalam mineral dan stabilitas *Marshall* sisa.

**Tahap VI :**

Setelah dilakukan inventarisasi dan analisis terhadap seluruh data pemeriksaan agregat, aspal dan campuran beton aspal, diperoleh kesimpulan dari seluruh rangkaian pengujian yang telah dilakukan.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini merangkum temuan studi, yang meliputi pengujian laboratorium agregat halus, agregat kasar, penetrasi aspal pertamina 60/70, dan bahan pengganti agregat dalam kombinasi menggunakan teknik uji *marshall*, dilakukan perbandingan perkerasan lentur AC-WC dengan kombinasi standard penetrasi aspal pertamina 60-70 dan campuran ditambah dengan *fly ash* dan abu sekam padi sebagai bahan tambah pada filler dan abu batu.

#### 4.1 Persiapan Material

Pelaksanaan penelitian dilakukan dalam beberapa tahap yaitu tahap persiapan bahan penelitian, penentuan kadar aspal, pembuatan benda uji, dan pengujian di laboratorium. Pada tahap penyediaan bahan, disiapkan antara lain agregat batu pecah yang di ambil dari PT. Adhimix Rmc Indonesia – Plant Kaligawe Semarang untuk bahan abu sekam padi di ambil dari Pabrik Pembakaran Batu Bata Karangawen. Semua proses pembuatan benda uji dan propertis material, uji aspal, dan pelgujian marshal di lakukan di laboratorium trasportasi jalan Universitas Islam Sultan Agung Semarang.



**Gambar 4.1** Abu Sekam Padi  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Pengambilan Aspal Pertamina Penetrasi 60/70, diambil dari Aspal Mixing Plant (AMP) PT. Deltamarga AdyatamaJekulo Kudus, yang nanti akan digunakan sebagai bahan material pada pelnelitian.

#### 4.2 Kadar Aspal Optimum

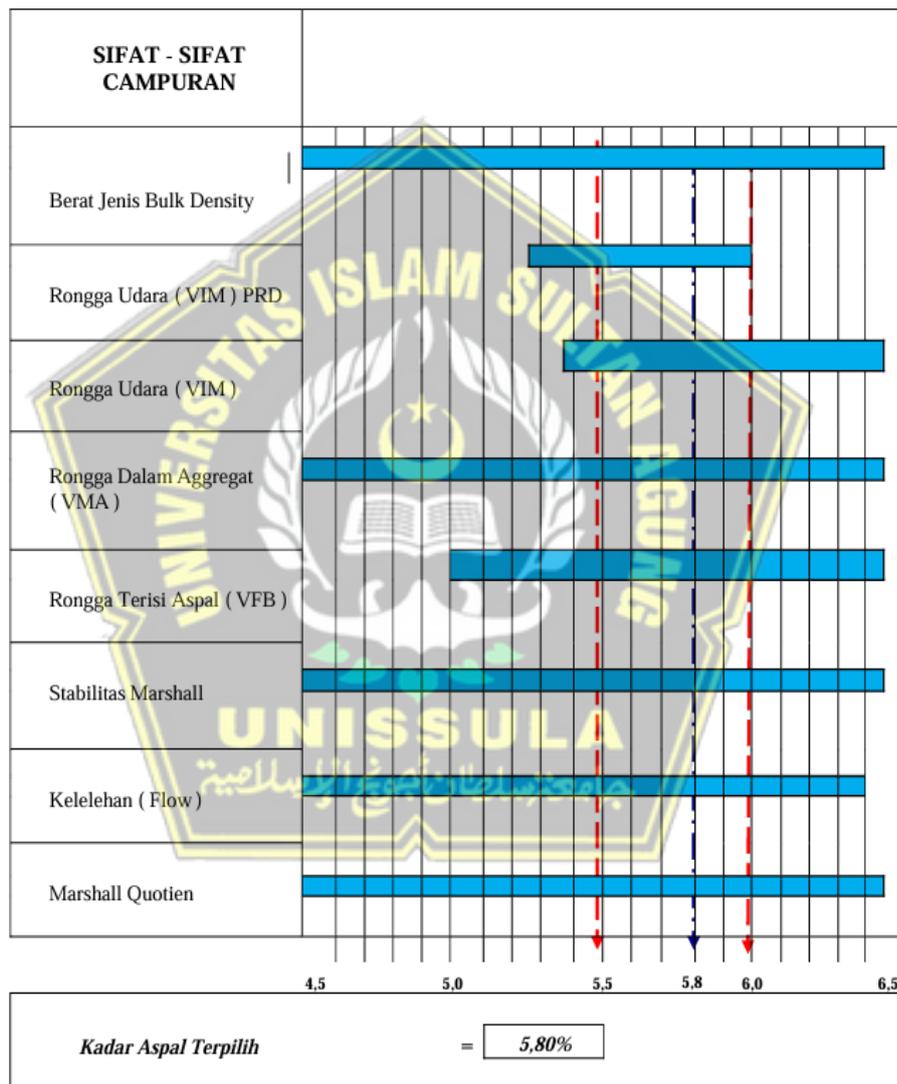
Dalam penelitian ini digunakan kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%. Data hasil pengujian dan analisa parameter pada **Tabel 4.1**, selanjutnya kadar aspal optimum (KAO) ditentukan dengan menggunakan standar Bina Marga, dimana ada 6 parameter yang harus dipenuhi yaitu: stabilitas, kelelehan (*flow*), *Marshall Quotien* (MQ), rongga terisi aspal (VFB), rongga dalam campuran (VIM) dan rongga dalam agregat (VMA).

**Tabel 4.1.** Data Hasil Pengujian untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum

Karakteristik <i>Marshall</i> Campuran Beraspal		Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)
Spesifikasi	Min	800	3	250	3	15	65
	Maks	-	-	-	5	-	-
4.5		2896.02	2.30	1259.14	6.14	16.62	52.88
		2797.85	2.40	1165.77	5.65	16.60	52.97
		2856.75	2.15	1328.72	5.89	16.48	53.41
<b>Rata-Rata</b>		<b>2850.20</b>	<b>2.28</b>	<b>1248.26</b>	<b>5,89</b>	<b>16,57</b>	<b>53.09</b>
5		3190.53	2.80	1139.47	5.07	16.30	68.88
		3043.27	2.90	1049.40	5.00	16.24	69.23
		3141.44	2.70	1163.50	5.11	16.34	68.71
<b>Rata-Rata</b>		<b>3125.08</b>	<b>2.80</b>	<b>1116.10</b>	<b>5.06</b>	<b>16.29</b>	<b>68.94</b>
5.5		2748.76	3.30	832.96	5.00	17.45	71.33
		3043.27	3.50	771.34	4.68	17.18	72.73
		2738.94	3.40	805.57	4.67	17.17	72.79
<b>Rata-Rata</b>		<b>2729.13</b>	<b>3.40</b>	<b>802.68</b>	<b>4.79</b>	<b>17.27</b>	<b>72.28</b>
6		2414.98	4.00	603.75	4.62	17.26	73.24
		2385.53	4.20	567.98	4.10	16.81	75.61
		2454.25	4.10	598.60	4.79	17.41	72.48
<b>Rata-Rata</b>		<b>2418.25</b>	<b>4.10</b>	<b>589.82</b>	<b>4.50</b>	<b>17.16</b>	<b>73.78</b>
6.5		2385.53	4.60	518.59	4.06	16.78	75.82
		2444.43	4.50	543.21	4.07	16.79	75.75
		2454.25	4.40	557.78	4.02	16.75	76.01
<b>Rata-Rata</b>		<b>2428.07</b>	<b>4.50</b>	<b>569.57</b>	<b>4.05</b>	<b>16.77</b>	<b>75.86</b>

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023).

Berdasarkan **Tabel 4.1** hasil pengujian untuk penentuan kadar aspal optimum diperoleh pada kadar 5,8% sedangkan untuk kadar aspal efektif pada kadar 5,5% dan 6%. Hasil tersebut berdasarkan nilai VIM dari nilai karakteristik campuran yang dihasilkan pada test *Mashall* diatas yang memenuhi spesifikasi bina marga dengan nilai 3,00-5,00, maka dapat ditentukan kadar aspal optimum sebagai berikut:



**Gambar 4.2** Penentuan Kadar Aspal Optimum  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

### 4.3 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)

Komposisi aspal yang direncanakan yaitu dengan cara mensubstitusikan *Fly Ash* dengan kadar 10%, 20%, 30%, 0%, 40%, dan 50% dari total keseluruhan semen. Sedangkan substitusi abu sekam padi dari total keseluruhan abu batu dengan kadar 0%, 0,25%, 0,5%, 1%, 1,5% dan 2%.

**Tabel 4.2.** Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Komposisi Normal

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 gram
2	Pasir	3%	36 gram
3	<i>Medium Aggregate</i> (1/2)	25%	300 gram
4	<i>Coarse Aggregate</i> (3/4)	25%	300 gram
5	<i>Filler</i>	1,20%	14,4 gram
6	Aspal	5,80%	69,6 gram
		100%	1200 gram

**Tabel 4.3.** Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Komposisi *Fly Ash* 10% + *Filler* 90% dan Abu Batu 100% + Abu Sekam Padi 0%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 gram
2	Pasir	3%	36 gram
3	<i>Medium Aggregate</i> (1/2)	25%	300 gram
4	<i>Coarse Aggregate</i> (3/4)	25%	300 gram
5	<i>Filler</i>	1,08%	12,96 gram
6	Aspal	5,80%	69,6 gram
7	Abu Sekam Padi	0%	0 gram
8	<i>Fly Ash</i>	0,12%	1,44 gram
		100%	1200 gram

**Tabel 4.4.** Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Komposisi *Fly Ash* 20% + *Filler* 80% dan Abu Batu 99,75% + Abu Sekam Padi 0,25%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	39,90%	478,8 gram
2	Pasir	3%	36 gram
3	<i>Medium Aggregate</i> (1/2)	25%	300 gram
4	<i>Coarse Aggregate</i> (3/4)	25%	300 gram
5	<i>Filler</i>	0,96%	11,52 gram
6	Aspal	5,80%	69,6 gram
7	Abu Sekam Padi	0,10%	1,2 gram

8	<i>Fly Ash</i>	0,24%	2,88 gram
		100%	1200 gram

**Tabel 4.5.** Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Komposisi *Fly Ash* 30% + *Filler* 70% dan Abu Batu 99,5% + Abu Sekam Padi 0,5%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	39,80%	477,6 gram
2	Pasir	3%	36 gram
3	<i>Medium Aggregate</i> (1/2)	25%	300 gram
4	<i>Coarse Aggregate</i> (3/4)	25%	300 gram
5	<i>Filler</i>	0,84%	10,08 gram
6	Aspal	5,80%	69,6 gram
7	Abu Sekam Padi	0,20%	2,4 gram
8	<i>Fly Ash</i>	0,36%	4,32 gram
		100%	1200 gram

**Tabel 4.6.** Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Komposisi *Fly Ash* 0% + *Filler* 100% dan Abu Batu 99% + Abu Sekam Padi 1%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	39,60%	475,5 gram
2	Pasir	3%	36 gram
3	<i>Medium Aggregate</i> (1/2)	25%	300 gram
4	<i>Coarse Aggregate</i> (3/4)	25%	300 gram
5	<i>Filler</i>	1,20%	14,4 gram
6	Aspal	5,80%	69,6 gram
7	Abu Sekam Padi	0,40%	4,8 gram
8	<i>Fly Ash</i>	0%	0 gram
		100%	1200 gram

**Tabel 4.7.** Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Komposisi *Fly Ash* 40% + *Filler* 60% dan Abu Batu 98,5% + Abu Sekam Padi 1,5%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	39,40%	472,8 gram
2	Pasir	3%	36 gram
3	<i>Medium Aggregate</i> (1/2)	25%	300 gram
4	<i>Coarse Aggregate</i> (3/4)	25%	300 gram
5	<i>Filler</i>	0,72%	8,64 gram
6	Aspal	5,80%	69,6 gram
7	Abu Sekam Padi	0,60%	7,2 gram
8	<i>Fly Ash</i>	0,48%	5,76 gram
		100%	1200 gram

**Tabel 4.8.** Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Komposisi *Fly Ash* 50% + *Filler* 50% dan Abu Batu 98% + Abu Sekam Padi 2%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	39,20%	470,4 gram
2	Pasir	3%	36 gram
3	<i>Medium Aggregate</i> (1/2)	25%	300 gram
4	<i>Coarse Aggregate</i> (3/4)	25%	300 gram
5	<i>Filler</i>	0,60%	7,2 gram
6	Aspal	5,80%	69,6 gram
7	Abu Sekam Padi	0,80%	9,6 gram
8	<i>Fly Ash</i>	0,60%	7,2 gram
		100%	1200 gram

#### 4.4 Pengujian Laboratorium

##### 4.4.1 Hasil Pengujian Penetrasi

Pengujian penetrasi aspal bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan aspal. Pengujian dilakukan dengan membebani permukaan aspal dengan membebani permukaan aspal dengan beban seberat 100 gram pada tumpuan jarum berdiameter 1 mm selama 5 detik pada temperature 25°C. Besarnya penetrasi diukur dan dinyatakan dalam angka yang dikalikan dengan 0,1 mm.



**Gambar 4.3** Pengujian Penetrasi Aspal

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

**Tabel 4.9.** Data Hasil Pengujian Penetrasi Aspal

Contoh dipanaskan 140 °C	Mulai:	Pukul 08.30
	selesai:	pukul 10.00
Didiamkan pada temperatur ruang	mulai:	Pukul 08.30
	selesai:	pukul 10.00
Direndam pada temperatur 25 °C	mulai:	pukul 10.45
	selesai:	pukul 11.15
Pemeriksaan penetrasi pada 25 °C	mulai:	pukul 11.30
	selesai:	pukul 12.00
Penetrasi pada 25°C 100 gr, 5 detik	Benda Uji	Benda Uji
Pengamatan ke:	A	B
1	65	65
2	64	65
3	65	65
4	64	66
5	65	66
Rata-rata	65	

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Dari data tabel di atas bahwa pengujian penetrasi aspal dilakukan menggunakan dua benda uji dengan masing-masing benda uji terdapat lima pengamatan pengujian. Dari benda uji A dan benda uji B didapatkan nilai rata-rata hasil pengujian yaitu 65 mm. Dengan itu, dapat disimpulkan bahwa aspal tersebut termasuk ke dalam aspal dengan penetrasi 60/70. Dengan nilai maksimal 60 mm dan maksimal 70 mm.

#### **4.4.2 Hasil Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar**

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan titik nyala dan titik bakar aspal. Titik nyala adalah suhu pada saat terlihat nyala singkat pada suatu titik di atas permukaan aspal. Titik bakar adalah suhu pada saat terlihat nyala singkat sekurang-kurangnya 5 detik pada suatu titik di atas permukaan aspal.



**Gambar 4.4** Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

**Tabel 4.10.** Data Hasil Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar

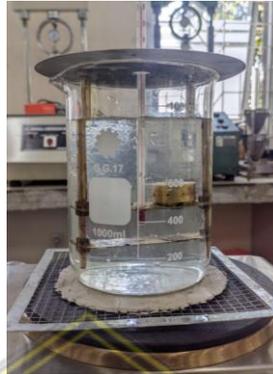
Contoh dipanaskan	mulai:	pukul 14.00
	selesai:	pukul 14.57
Pemeriksaan Titik Nyala	Kode Benda Uji	
°C	I	II
Pengamatan ke:	جامعته سلطان اجمل	
1	314.4	313.6
2		
<b>Rata – rata</b>	<b>314 °C</b>	

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Dari tabel di atas dilakukan pengujian dengan dua benda uji yang mana benda uji I mendapatkan nilai 314,4°C dan benda uji II mendapatkan nilai 313,6°C. Dengan kedua benda uji tersebut didapatkan nilai rata-rata yaitu 314°C. Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa pengujian titik nyala pada aspal tersebut terletak pada suhu 314°C.

#### 4.4.3 Hasil Pengujian Titik Lembek

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan titik lembek aspal di mana bola baja jatuh dari cincin aspal menyentuh dasar pelat atau dasar bejana gelas dengan ketinggian tertentu.



**Gambar 4.5** Pengujian Titik Lembek  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

**Tabel 4.11.** Data Hasil Pengujian Titik Lembek

Contoh dipanaskan 140 °C		mulai:	Pukul 11.30			
		selesai:	pukul 12.15			
Didiamkan pada temperatur ruang		mulai:	Pukul 12.15			
		selesai:	pukul 12.45			
Direndam pada temperatur 5 °C		mulai:	pukul 12.45			
		selesai:	pukul 13.00			
Pemeriksaan		mulai:	pukul 13.00			
		selesai:	pukul 13.15			
No.	Suhu yang diamati		Waktu (detik)		Titik Lelmbelk (°C)	
	°C	°F	I	II	I	
1	5	41	0	0		
2	10	50	65	65		
3	15	59	126	126		
4	20	68	185	185		
5	25	77	245	245		
6	30	86	305	305		
7	35	95	364	364		
8	40	104	425	425		
9	45	113	456	456		
10	50	122	484	484		
			523	525	51.8	51.6
11	55	131				
Rata-rata			51.7 °C			

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Dari data tabel di atas menunjukkan bahwa temperatur di mana aspal mulai meleleh atau lembek yaitu pada suhu rata-rata 51,7°C dengan ditandai turunnya bola ke plat dasar baja pada waktu 523 detik dan 525 detik.

#### 4.4.4 Hasil Pengujian Viskositas

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kekentalan aspal yang digunakan untuk menentukan suhu pencampuran dan pemadatan aspal. Viskositas secara universal adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan bahan sebanyak 60 ml dalam detik pada slump tertentu melalui lubang universal (*Universal Orifice*) yang telah distandarkan dan dinyatakan dalam S.U.S (*Saybolt Universal Second*).



**Gambar 4.6** Pengujian Viskositas  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

**Tabel 4.12.** Data Hasil Pengujian Viskositas

Pembacaan	Pengamatan		
	Suhu (C°)	Waktu	Detik
120	16 menit 17 detik	970	2114.6
140	14 menit 1 detik	845	1842.1
160	6 menit 25detik	375	817.5
180	1 menit 3 detik	63	137.3
<b>Rata-rata</b>			

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Dari pengujian kekentalan (viskositas) aspal keras yang telah dilakukan, dapat kita simpulkan, dari data yang didapat bahwa pada suhu rendah (dingin) aspal akan beku, namun, jika suhu naik atau tinggi aspal akan mengental atau bahkan sampai, kekentalan dapat kita ketahui dengan semakin sedikitnya waktu yang dibutuhkan, untuk mengeluarkan aspal dari lubang. Pada alat viskositas *saybolt* tersebut dengan

kenaikan suhu yang ditentukan, berarti semakin tinggi suhu aspal tsb juga akan semakin cair.

**Tabel 4.13.** Hasil Kesimpulan Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Pertamina Pen 60/70

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Spesifikasi Aspal Pertamina PEN 60/70		Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Keterangan
			Min	Max			
1	Penetrasi 25°C, 100g, 5 detik	0,1 mm	60	70	65	SNI-06-2456-1991	Memenuhi
2	Titik Lembek 5°C (Ring and Ball Test)	°C	48	58	51,55	SNI-06-2434-1991	Memenuhi
3	Titik Nyala (Cleaveland Open Cup)	°C	Min. 200	-	314	SNI-06-2434-1991	Memenuhi
4	Viskositas	°C	120	200	178 172	SNI-03-6721-2002	Memenuhi

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Hasil pemeriksaan aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah Aspal Pertamina Pen 60/70. Pengujian yang dilakukan untuk aspal pertamina ini adalah pengujian penetrasi, titik nyala dan titik bakar, titik lembek dan viskositas. Parameter tersebut dapat mewakili karakteristik utama dari aspal pertamina untuk diaplikasikan sebagai campuran untuk perkerasan lentur. Hasil pengujian aspal tertera pada tabel-tabel di bawah dengan menggunakan perbandingan berdasarkan dari Spesifikasi Pemeriksaan Jalan No. 01/MN/BN/1976 Bina Marga.

#### 4.4.5 Pengujian Agregat

Pengujian propertis agregat kasar meliputi bentuk agregat, abrasi dengan mesin Los Angeles, kelekatan agregat terhadap aspal, angularitas dan butiran mudah pecah, gradasi agregat, berat jenis, berat jenis permukaan jenuh, berat jenis semu, penyerapan, material lolls saringan No. 200, partikel pipih dan lonjong, dan sand equivalent. Pengujian agregat tertera pada **Tabel 4.14.** dengan menggunakan

perbandingan berdasarkan dari Spesifikasi Pemeriksaan Jalan No.01/MN/BM/1976 Bina Marga.

**Tabel 4.14.** Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan	Hasil	Keterangan
<b>A</b>	<b>Agregat Kasar</b>				
1	Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	SNI 03-2417-2008	Maks. 40%	14,01%	Memenuhi
2	Kelekatan agregat terhadap aspal Pertamina Pen 60/70	SNI 03-2439-2011	Min. 95%	98%	Memenuhi
3	Partikel pipih dan lonjong	ASTM D4791-10	Maks. 10%	8,89%	Memenuhi
4	Material lolos saringan no. 200	ASTM C117-2012	Maks. 1%	0,60%	Memenuhi
5	Penyerapan air oleh agregat	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%		Memenuhi
	a. Agregat kasar ½			1,58%	
	b. Agregat kasar 3/8			2,06%	
6	Berat jenis ( <i>bulk specific gravity</i> )	SNI 03-1969-1990	Min. 2,5%		Memenuhi
	a. Agregat kasar 0,5/1			2,66%	
	b. Agregat kasar ½			2,65%	
<b>B</b>	<b>Agregat halus</b>				
1	Material lolos saringan no. 200	SNI 03-4142-1996	Maks. 15%	10,56%	Memenuhi
2	Penyerapan air oleh agregat	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%	1,58%	Memenuhi
	a. Agregat halus (pasir)			2,06%	
	b. Agregat halus (abu batu)				
3	Berat jenis ( <i>bulk specific gravity</i> )	SNI 03-1969-1990	Min. 2,5%	2,65%	Memenuhi
				2,65%	

Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Karena semua hasil pengujian material agregat yang berasal dari pemecahan batu *Stone Crusher* dari PT. Adhimix RMC Indonesia – Plant Kaligawe Semarang memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, maka agregat

tersebut dapat digunakan sebagai campuran beton aspal campuran panas (Laston) AC- WC. Demikian hanya filler yang digunakan adalah material dari semen Portland (PC) yang dibandingkan dengan Fly Ash pembakaran batu bara.

#### 4.4.6 Hasil Pengujian Pasir

Pasir merupakan material agregat halus yang lolos saringan 1 ½ - #30 dan tertahan mulai dari saringan #50, yang dapat dilihat pada **Tabel 4.15**.

**Tabel 4.15.** Hasil Analisa Pembagian Butiran (SNI 03-1968-1990 / AASHTO T.27-88)

**Jenis Material: Pasir**

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		Percobaan 01			Rata-Rata Lolos	Percobaan 02		
		TERTAHAN		LOLOS	inch	TERTAHAN		LOLOS
inch	mm	gr	%	%		gr	%	%
1 1/2"	37,5	0	0	100	1 1/2"	0	0	100
1"	25	0	0	100	1"	0	0	100
3/4"	19	0	0	100	3/4"	0	0	100
1/2"	12,5	0	0	100	1/2"	0	0	100
3/8"	9,5	0	0	100	3/8"	0	0	100
#4	4,75	0	0	100	#4	0	0	100
#8	2,36	0	0	100	#8	0	0	100
#16	1,15	0	0	100	#16	0	0	100
#30	0,6	0	0	100	#30	0	0	100
#50	0,3	305,8	61,16	100	#50	275,2	55,04	44,96
#100	0,15	417,5	83,5	100	#100	421,4	84,28	15,72
#200	0,075	478,2	95,64	98,37	#200	461,2	92,24	7,76
Weight of Sample (gr)		500				500		

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Untuk agregat halus pasir sebanyak 100% merupakan agregat yang lolos saringan no. 30" atau 0,6 mm dan tertahan pada saringan no. 50" atau 0,3 mm sebanyak 44,96%. Untuk sebaran agregat medium, sebanyak 100% dari total sampel analisa saringan medium merupakan agregat lolos saringan no. 30" dan

tertahan pada saringan no. #50 atau 2,36 mm sebanyak 100%. Untuk agregat halus terbagi di setiap saringan.

#### 4.4.7 Hasil Pengujian Fly Ash

Fly Ash merupakan material dijadikan sebagai substitusi *filler* pada penggunaan semen portland, yang lolos saringan #8 sampai #100 dan tertahan mulai dari saringan #200, yang akan dapat dilihat pada **Tabel 4.16**.

**Tabel 4.16.** Hasil Analisa Pembagian Butiran (SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88)

**Jenis Material: Filler (Fly Ash)**

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		TERTAHAN			LOLOS			UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		TERTAHAN			LOLOS						
inch	mm	gr	%	%	inch	gr	%	%	inch	mm	gr	%	%	inch	mm	gr	%	%	
11/2"	37,5				11/2"														
1"	25				1"														
3/4"	19				3/4"														
1/2"	12,5				1/2"														
3/8"	9,5				3/8"														
#4	4,75				#4														
#8	2,36	-	-	100	#8	-	-	100											
#16	1,15	-	-	100	#16	-	-	100											
#30	0,6	-	-	100	#30	-	-	100											
#50	0,3	-	-	100	#50	-	-	100											
#100	0,15	-	-	100	#100	-	-	100											
#200	0,075	1,5	1,63	98,37	#200	1,1	1,1	98,9											
Weight of Sample (gr)		92				99,8													

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Untuk agregat halus terbagi di setiap saringan kecuali saringan No. 200 atau 200 mm yang tertahan sebanyak 1,63%. Pada tabel analisa pembagian butiran jenis

material *filler* semen semua material lolos saringan 1” sampai dengan saringan No. 100 atau 100 mm kecuali pada saringan No. 200 sebanyak 98,37%.

#### 4.4.8 Hasil Pengujian Abu Sekam Padi

Abu Sekam Padi merupakan material dijadikan sebagai bahan substitusi pada penggunaan abu batu, yang lolos saringan #8 sampai #100 dan tertahan mulai dari saringan #200, yang akan dapat dilihat pada **Tabel 4.17**.

**Tabel 4.17.** Hasil Analisa Pembagian Butiran (SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88)

#### Jenis Material: Substitusi Abu Batu (Abu Sekam Padi)

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE					UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE			
inch	mm	TERTAHAN		LOLOS	inch	TERTAHAN		LOLOS
		gr	%	%		gr	%	%
1 1/2”	37,5				1 1/2”			
1”	25				1”			
3/4”	19				3/4”			
1/2”	12,5				1/2”			
3/8”	9,5				3/8”			
#4	4,75				#4			
#8	2,36	-	-	100	#8	-	-	100
#16	1,15	-	-	100	#16	-	-	100
#30	0,6	-	-	100	#30	-	-	100
#50	0,3	-	-	100	#50	-	-	100
#100	0,15	-	-	100	#100	-	-	100
#200	0,075	1,7	1,82	98,58	#200	1,3	1,2	98,96
Weight of Sample (gr)		93				99,84		

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Untuk agregat halus terbagi di setiap saringan kecuali saringan No. 200 atau 200 mm yang tertahan sebanyak 1,82%. Pada tabel analisa pembagian butiran jenis material abu sekam padi semua material lolos saringan 1” sampai dengan saringan No. 100 atau 100 mm kecuali pada saringan No. 200 sebanyak 98,58%.

#### 4.4.9 Hasil Perhitungan Kombinasi Agregat

Kombinasi agregat adalah penggabungan dari masing-masing agregat yang lolos saringan  $\frac{3}{4}$  dan tertahan mulai dari saringan ukuran  $\frac{1}{2}$  sampai dengan # 200, yang terdiri dari Agregat Kasar, Agregat Halus, Pasir, Aspal dan Filler (semen). Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada **Tabel 4.18**.

**Tabel 4.18.** Perhitungan Kombinasi Agregat (SNI 03-1968 1990/AASHTO T.27-88)

Uraian	Ukuran Saringan (SIEVE SIZE)											
	Inch	1"	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{1}{2}$ "	$\frac{3}{8}$ "	#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	0.08
Data Material												
Batu Pecah Max $\frac{1}{2}$ ' (%)		100	100	70.22	25.67	1.58	0.76	0.31	0.3	0.29	0.29	0.29
Batu Pecah Max $\frac{3}{8}$ ' (%)		100	100	100	82.36	33.55	6.08	2.4	2.13	1.79	1.44	1.44
Abu Batu (%)		100	100	100	100	100	77.59	48.9	32.3	24.88	16.6	8.01
Aspal Pertamina (%)		100	100	100	100	100	100	100	51.3	35.98	12.1	5.25
Pasir (%)		100	100	100	100	100	100	100	100	41.9	16.1	6.06
Filler Semen (%)		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98.6
<b>Total Campuran</b>		<b>70</b>	<b>70</b>	<b>64.34</b>	<b>51.65</b>	<b>35.35</b>	<b>22.65</b>	<b>13.93</b>	<b>9.24</b>	<b>7.09</b>	<b>6.09</b>	<b>3.03</b>
<b>Batu Pecah Max <math>\frac{1}{2}</math>' (%)</b>	<b>25.00%</b>	25	25	17.56	6.42	0.39	0.19	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07
<b>Batu Pecah Max <math>\frac{3}{8}</math>' (%)</b>	<b>25.00%</b>	25	25	25	20.59	8.39	1.52	0.6	0.53	0.45	0.36	0.36
<b>Abu Batu (%)</b>	<b>40.00%</b>	40	40	40	40	40	31.03	19.56	12.9	9.95	6.62	3.2
<b>Aspal Pertamina (%)</b>	<b>5.80%</b>	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	2.97	2.09	0.7	0.3
<b>Pasir (%)</b>	<b>3.00%</b>	3	3	3	3	3	3	3	3	1.26	0.48	0.18
<b>Filler Semen (%)</b>	<b>1.20%</b>	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.18

<b>Total Campuran</b>	<b>100%</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>92.56</b>	<b>77.01</b>	<b>58.78</b>	<b>42.74</b>	<b>30.24</b>	<b>20.7</b>	<b>15.01</b>	<b>9.44</b>	<b>5.3</b>
<b>Spesifikasi Gradasi</b>												
<b>Max</b>		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>95</b>	<b>80</b>	<b>65</b>	<b>48</b>	<b>35</b>	<b>25</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>7</b>
<b>Min</b>		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>85</b>	<b>70</b>	<b>50</b>	<b>33</b>	<b>23</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
Toleransi Komposisi												
Max		100		95	80	62.5	43.5	32	21.5	16	10.5	6
Min		95		85	70	52.5	37.5	26	15.5	10	6.5	4
Luas Permukaan Agregat	:	5.8										

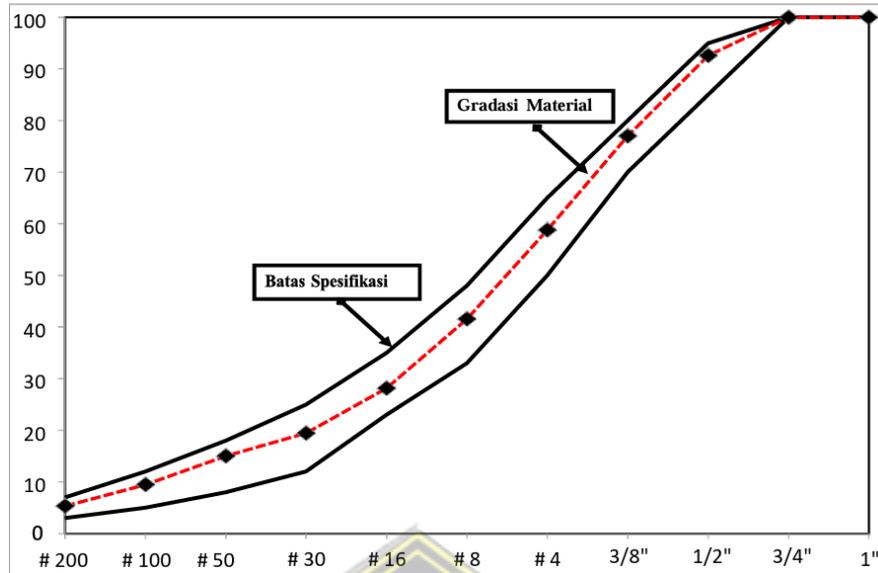
(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

**Tabel 4.19.** Spesifikasi Batas Kombinasi Lolos Saringan (SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88)

No. Saringan	Presentase Lolos	Spesifikasi	
	Kombinasi Lolos	Batas Bawah	Batas Atas
#200	4,12	2	7
#100	7,13	5	12
#50	11,61	8	18
#30	15,11	12	25
#16	21,74	23	35
#8	31,34	33	48
#4	56,65	50	65
3/8"	69,59	70	80
1/2"	87,5	85	95
3/4"	100	100	100
1"	100	100	100

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Dari **Tabel 4.19.** hasil kombinasi agregat dengan total campuran gradasi agregat tiap saringan tidak boleh melebihi batas Max dan Min dari spesifikasi gradasi yang telah ditetapkan, bisa dilihat pada **Gambar 4.3.** Kombinasi Agregat.



**Gambar 4.7.** Kombinasi Agregat  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Pada pembacaan **Gambar 4.7.** kombinasi agregat prosentase lolos saringan no. 200 atau 200 mm sampai dengan 1' tidak diperbolehkan melewati batas bawah dan batas atas pada masing-masing agregat yang disaring. Jika terdapat agregat yang melewati batas atas ataupun batas bawah, maka tidak diijinkan menjadi material pengisi pada Asphalt Concrete-Wearing Course.

#### 4.5 Pembuatan Benda Uji

Pada penelitian kali ini menggunakan komposisi kadar aspal yang di peroleh dari perhitungan sebesar 5.8%.

**Tabel 4.20.** Pembuatan Benda Uji

No	Jenis Benda Uji	Benda yang Diuji Masing-Masing
1	Campuran Aspal Komposisi Normal	3 Buah
2	Campuran Aspal Komposisi <i>Fly Ash</i> 10% + Abu Sekam Padi 0%	3 Buah
3	Campuran Aspal Komposisi <i>Fly Ash</i> 20% + Abu Sekam Padi 0,25%	3 Buah

4	Campuran Aspal Komposisi <i>Fly Ash</i> 30% + Abu Sekam Padi 0,5%	3 Buah
5	Campuran Aspal Komposisi <i>Fly Ash</i> 0% + Abu Sekam Padi 1%	3 Buah
6	Campuran Aspal Komposisi <i>Fly Ash</i> 40% + Abu Sekam Padi 1,5%	3 Buah
7	Campuran Aspal Komposisi <i>Fly Ash</i> 50% + Abu Sekam Padi 2%	3 Buah
Total Keseluruhan Benda Uji		21 Buah

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Pengambilan sampel benda uji dilakukan setelah di tentukan komposisi campuran aspal. Temperature aspal memiliki viskositas kinematis 170/20 centistokes adalah temperature campurannya dengan agregat dan temperaturpemadatan memiliki viskositas kinematis 280/30 centistokes.

Masing – masing benda uji yaitu 3 buah benda uji untuk perbandingan masing – masing benda uji yang sesuai dengan spesifikasi teknik Bina Marga tahun 2018 revisi 2.

#### 4.6 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Maksimum GMM

Berat jenis maksimum campuran beraspal ditentukan dengan mengukur berat dan isi dari benda uji dimana udara yang berada di antara butir benda uji dikeluarkan dengan cara pengisapan.





**Gambar 4.8.** Pengujian GMM  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)



**Tabel 4.21.** Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Maksimum GMM (AASHTO-T.209-90)

No.	Benda Uji Modifikasi		Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM)														
	Contoh No:		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	Berat Botol + Contoh	gr	1,568	1,566	1,561	1,562	1,562	1,565	1,564	1,562	1,562	1,560	1,565	1,564	1,566	1,566	
2	Berat Botol	gr	764	764	764	764	764	764	764	764	764	764	764	764	764	764	
3	Berat Contoh	(1 - 2)	gr	804	802	797	798	798	801	800	798	798	796	801	800	802	802
4	Berat Botol + Contoh + Air (batas kalibrasi)	gr	2,297	2,295	2,293	2,294	2,290	2,292	2,295	2,293	2,292	2,295	2,291	2,290	2,295	2294	
5	Berat botol + Air (batas kalibrasi)	gr	1,928	1,925	1,922	1,920	1,921	1,923	1,924	1,925	1,922	1,924	1,923	1,923	1,927	1926	
6	Berat air	(4 - 5)	gr	369	370	371	374	369	369	371	368	370	371	368	367	368	368
7	Volume contoh	(3 - 6)	gr	435	432	426	424	429	432	429	430	428	425	433	433	435	434
8	Max Specific Gravity (Gmm)	(3 : 7)	gr / cc	1.848	1.856	1.870	1.882	1.860	1.854	1.864	1.856	1.864	1.873	1.850	1.848	1.846	1.848
9	Temperatur air T °C	gr	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu	gr	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)	(8 x 10)	gr/ cc	1.848	1.856	1.870	1.882	1.860	1.854	1.864	1.856	1.864	1.873	1.850	1.848	1.846	1.848
Rata - rata GMM				1.852		1.876		1.857		1.860		1.869		1.849		1.847	
Variasi Kadar Fly Ash %				0%		10%		20%		30%		0%		40%		50%	
Variasi Kadar Abu Sekam Padi %				0%		0%		0,25%		0,5%		1%		1,5%		2%	

**Rata-rata Kadar Aspal: 1.859**

Pada pemeriksaan berat jenis campuran aspal dengan 7 variasi kadar fly ash yaitu 0%, 10%, 20%, 30%, 0%, 40% dan 50%. Kemudian campuran aspal dengan 7 variasi kadar abu sekam padi yaitu 0%, 0%, 0,25%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% dengan berat jenis maksimum aspal adalah 1,876 gr/cc.

#### 4.7 Pengujian Kadar Ekstraksi

**Tabel 4.22.** Hasil Pengujian Kadar Aspal

NO	URAIAN PEMERIKSAAN	RUMUS	Aspal Pertamina + Fly Ash + Abu Sekam Padi	SAT
A	Berat Pan / Cawan		102.6	gr
B	Berat Material + Pan Sebelum		556.2	gr
C	Berat Material + Pan Sesudah		536.4	gr
D	Berat Sebelum Ektaksi	(B-A)	453.6	gr
E	Berat Setelah Ektaksi	(C-A)	433.8	gr
F	Berat Kertas Filter		6.5	gr
G	Berat Total Material	(C-A-F)	427.3	gr
H	Berat Aspal Dalam Campuran	(D-G)	26.3	gr
I	Persen Aspal Dalam Campuran	(H/D x 100)	5.80	%

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Berdasarkan **Tabel 4.22.** hasil dari pengujian kadar aspal dan ekstraksi digunakan sebagai penentuan Kadar Aspal Optimum.

#### 4.8 Hasil Pengujian AC-WC

**Tabel 4.23.** Komposisi Material AC-WC

NO	JENIS MATERIAL	KOMPOSISI	BERAT (gr)	KUMULATIF (gr)
1	<i>Coarse Agg. (1/2')</i>	25.0%	300	600
2	<i>Medium Agg (3/8')</i>	25.0%	300	300
3	Abu Batu	40.0%	516	1080
4	Pasir	3.0%	36	1116
5	<i>Filler Semen</i>	1.20%	14.4	1130
6	Aspal	<b>5.80%</b>	<b>69.6</b>	1200

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Dari Pengujian AC Wearing Course didapatkan Kadar Aspal Optimum adalah 5,8% dengan berat 69,6 gr.

#### 4.9 Hasil Pemeriksaan *Marshall*

Apabila sudah dilakukan penentuan *job mix design* juga *design mix formula*, dan pembuatan benda uji sebanyak 21 buah aspal. Selanjutnya seluruh benda uji ditimbang dalam keadaan masih kering, di lanjutkan benda uji ditimbang setelah melakukan perendaman selama 5 menit dan benda uji ditimbang kembali dalam keadaan SSD (*Saturated Surface Dry*). Setelah didapatkan berat benda uji, selanjutnya dilakukan perendaman pada *waterbath* (pemanas cairan dengan cara merendamnya pada air yang telah dipanaskan sebelumnya) pada temperatur 60°C selama 30 menit.

Seluruh sampel benda uji pada *waterbath* yang telah direndam harus langsung dilakukan proses pengujian pada alat *Marshall* untuk mendapatkan hasil bacaan stabilitas dan hasil bacaan *flow* (kelelahan) pada sampel benda uji aspal. Maksud dalam pemeriksaan *Marshall Test* akan menghasilkan parameter *Marshall*, yaitu nilai KAO (Kadar Aspal Optimum). Agar dapat memperoleh nilai KAO (Kadar Aspal Optimum) terlebih dahulu didapatkan beberapa parameter. Parameter yang didapatkan yaitu VMA (*Void in Mineral Aggregates*), VIM (*Void in Mix*), VFB (*Void Filled Bitumen*), stabilitas, *flow* (kelelahan), dan MQ (*Marshall Quotient*).

Hasil dari pemeriksaan *Marshall Test* terdapat pada tabel yang telah direkap pada tabel di bawah dan juga terdapat pula grafik dari seluruh parameter *Marshall Test* yaitu VMA (*Void in Mineral Aggregates*), VIM (*Void in Mix*), VFB (*Void Filled Bitumen*), stabilitas, *flow* (kelelahan), dan MQ (*Marshall Quotient*) yang telah memenuhi persyaratan dari Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi 2).

Untuk hasil yang didapatkan dari pengujian *Marshall* pada penelitian dibagi menjadi 7 komposisi, yaitu hasil pengujian *Marshall* untuk benda uji komposisi normal, benda uji kombinasi *fly ash* 10% + abu sekam padi 0%, benda uji kombinasi *fly ash* 20% + abu sekam padi 0,25%, benda uji kombinasi *fly ash* 30% + abu sekam padi 0,5%, benda uji kombinasi *fly ash* 0% + abu sekam padi 1%, benda uji kombinasi *fly ash* 40% + abu sekam padi 1,5%, benda uji kombinasi *fly ash* 50% + abu sekam padi 2% dengan masing-masing 3 benda uji per komposisi.

#### 4.9.1 Hasil *Marshall* Benda Uji Normal

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanik dari campuran aspal. Metode Marshall ditemukan oleh Bruce Marshall dan telah terstandarisasi oleh ASTM dan AASHTO melalui beberapa modifikasi, termasuk ASTM D 1559-76 dan AASHTO T-245-90. Metode ini berguna untuk menguji stabilitas dan kelelahan (flow) dari campuran aspal, serta menganalisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk.



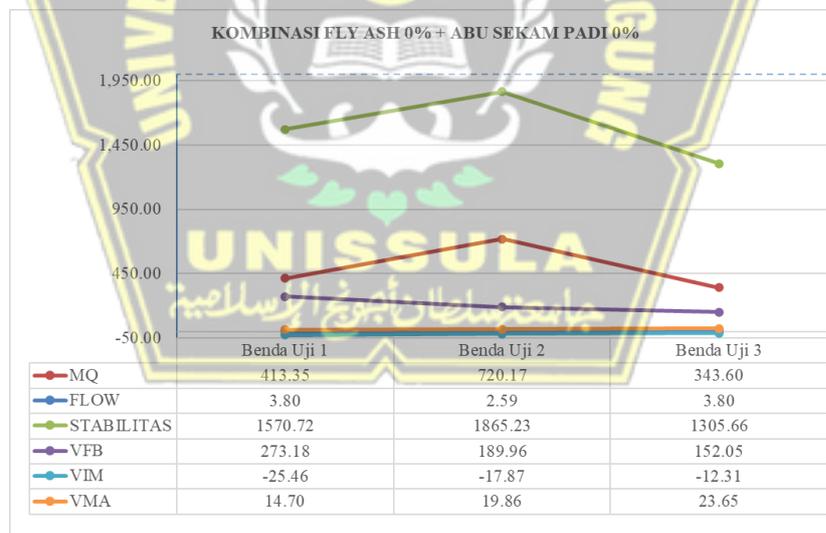
**Gambar 4.9.** Pengujian Marshall  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

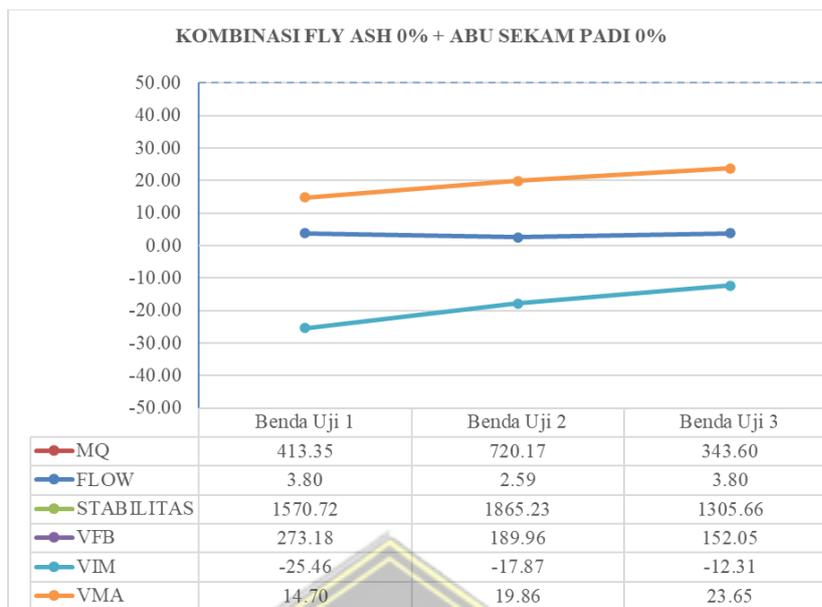
جامعة سلطان أبو جوح الإسلامية

**Tabel 4.24. Hasil Marshall Kombinasi Fly Ash 0% + Abu Sekam Padi 0%**

Kombinasi Fly Ash 0% + Abu Sekam Padi 0%																					
BJ Aspal (T) :		1.034		BJ Efektif Total Agregat (Gse)			2.516			BJ Total Agg (Gsb) :			2.749			Kalibrasi Proving Ring =		9.817		Kg	
No benda uji	% Fly ash	% Abu Sekam Padi	kadar aspal	berat di udara	berat dalam air	berat ssd	volume isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg.(vma)	% rongga dalam camp (vim)	% rongga terisi aspal (vfb)	stabilitas dibaca arloji	Load (pembacaan arloji x Kal. Prov. Ring	kelelahan plastis (flow)	hasil bagi marshall (mq)					
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p					
			% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	f-e	d / g	GMM	$100 - \frac{(100-e)h}{gfb}$	$100 - \frac{(100-h)i}{i}$	$\frac{100(j-k)}{i}$				n / o					
			(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)					
Benda Uji 1	0%	0%	5.8	1150.0	707.0	1169.0	462.0	2.489	1.984	14.70	-25.46	273.18	160	1570.72	3.80	413.35					
Benda Uji 2	0%	0%	5.8	1195.0	700.0	1211.0	511.0	2.339	1.984	19.86	-17.87	189.96	190	1865.23	2.59	720.17					
Benda Uji 3	0%	0%	5.8	1201.0	671.0	1210.0	539.0	2.228	1.984	23.65	-12.31	152.05	133	1305.66	3.80	343.60					
Rata-rata	0%	0%	5.8	1182.0	692.7	1196.7	504.0	2.352	1.984	19.40	-18.55	205.06	161	1580.54	3.40	465.32					

Setelah seluruh hasil data pengujian *Marshall* pada benda uji komposisi normal di rekap ke dalam bentuk tabel, maka selanjutnya seluruh data dibuat ke dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada **Grafik 4.1.** di bawah ini berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2.





**Grafik 4.1.** Grafik Hasil *Marshall* Komposisi Normal

Dari grafik yang diperoleh pada **Grafik 4.1.** dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter Marshall Test mendapatkan hasil yang bervariasi, untuk nilai VMA (*Void in The Mineral Agregat*) atau rongga di antara mineral agregat pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 yaitu 14,70%, 19,86%, dan 23,65%. Dari hasil yang didapatkan nilai masing-masing benda uji kombinasi normal tersebut yang telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga yaitu benda uji 2 dan 3 yang mana memiliki nilai lebih dari 15% sedangkan pada benda uji 1 kurang dari 15%.

Nilai VIM (*Void in Mix*) atau rongga di dalam campuran pada benda uji 1, benda uji 2, dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu -25,46%, -17,82%, dan -12,31%. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi normal tersebut mendapatkan hasil yang cukup rendah dan belum mencapai hasil minimum pada Spesifikasi Bina Marga yang mana memiliki nilai minimum 3% dan maksimum 5%.

Nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) atau rongga dalam benda uji yang terisi aspal pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan nilai sebesar 273,18%, 189,96%, 152,05%. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi normal tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VFB (*Void Filled Bitumen*) dari Bina Marga yaitu minimum 65%.

Nilai Stabilitas pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan nilai sebesar 1570,72 kg, 1865,23 kg dan 1305,66 kg. Dari hasil masing-masing benda

uji kombinasi normal tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi stabilitas dari Bina Marga yaitu minimum 800 kg.

Nilai Flow (kelelehan) pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu 3,80 mm, 2,59 mm dan 3,80 mm. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi normal tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi flow (kelelehan) dari Bina Marga yaitu minimum 2 mm dan maksimum 4 mm.

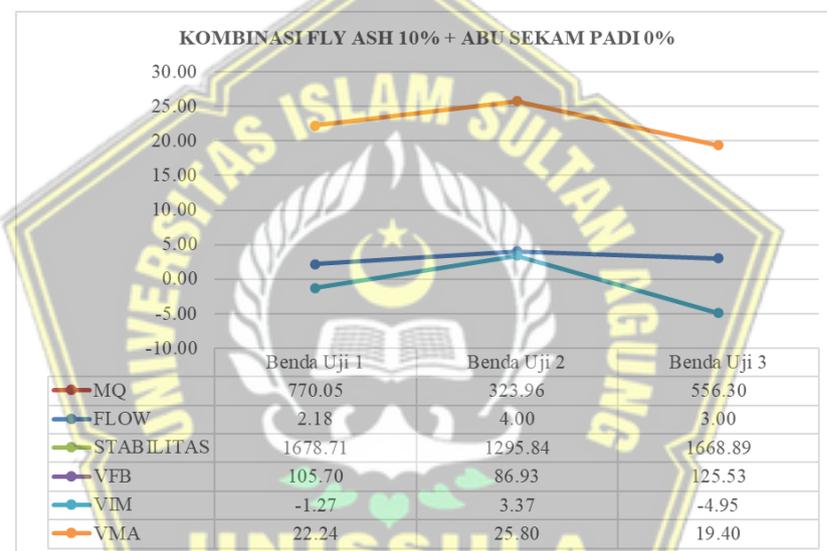
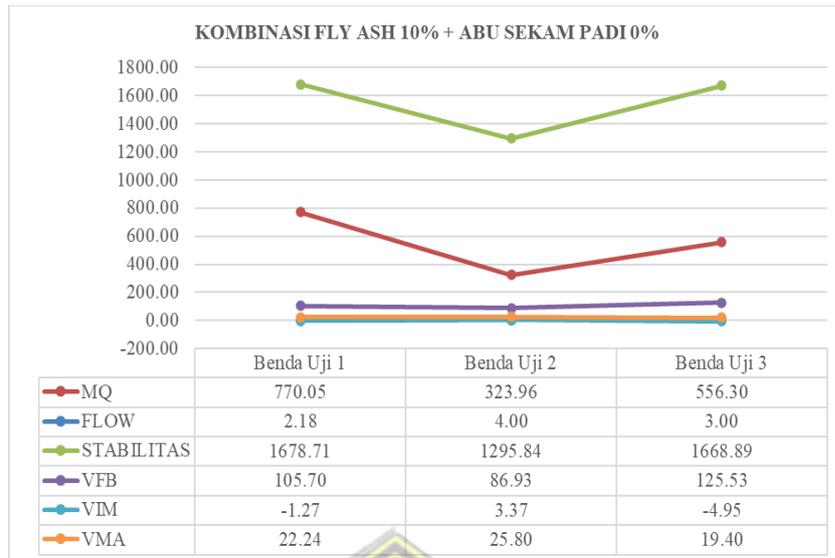
Nilai MQ (Marshall Quotient) pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu 413,35 kg/mm, 720.17 kg/mm dan 343.60 kg/mm. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi normal tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi MQ (Marshall Quotient) dari Bina Marga yaitu minimum 250 kg/mm.

#### 4.9.2 Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi Fly Ash 10% + Abu Sekam Padi 0%

**Tabel 4.25.** Hasil Marshall Kombinasi Fly Ash 10% + Abu Sekam Padi 0%

Kombinasi Fly Ash 10% + Abu Sekam Padi 0%																
BJ Aspal (T) :			1.034	BJ Efektif Total Agregat (Gse)				2.516	BJ Total Agg (Gsb) :			2.749	Kalibrasi Proving Ring =		9.817 Kg	
No benda uji	% Fly ash	% Abu Sekam Padi	kadar aspal	berat di udara	berat dalam air	berat ssd	volume isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara aggr (vma)	% rongga dalam camp (v <sub>m</sub> )	% rongga tersisi aspal (v <sub>fb</sub> )	stabilitas dibaca arloji	Load (pembacaan arloji x Kal. Prov. Ring	kelelehan plastis (flow)	hasil bagi marshall (mq)
				a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
			% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	f-e	d/g	GMM	$\frac{100 - (100 - e)h}{gab}$	$\frac{100 - (100 - k)}{i}$	$\frac{100(j - k)}{i}$	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
			(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)				
Benda Uji 1	10%	0%	5.8	1171.0	661.0	1177.0	516.0	2.269	2.241	22.24	-1.27	105.70	171	1678.71	2.18	770.05
Benda Uji 2	10%	0%	5.8	1191.0	655.0	1205.0	550.0	2.165	2.241	25.80	3.37	86.93	132	1295.84	4.00	323.96
Benda Uji 3	10%	0%	5.8	1176.0	685.0	1185.0	500.0	2.352	2.241	19.40	-4.95	125.53	170	1668.89	3.00	556.30
Rata-rata	10%	0%	5.8	1179.3	667.0	1189.0	522.0	2.262	2.241	22.48	-0.95	106.05	157.67	1547.81	3.06	505.82

Setelah seluruh hasil data pengujian Marshall pada benda uji kombinasi Fly Ash 10% + Abu Sekam Padi 0% di rekap ke dalam bentuk tabel, maka selanjutnya seluruh data dibuat ke dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada **Grafik 4.2.** di bawah ini berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2.



**Grafik 4.2.** Hasil Marshall Kombinasi Fly Ash 10% + Abu Sekam Padi 0%

Dari grafik yang diperoleh pada **Grafik 4.2.** dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter Marshall Test mendapatkan hasil yang bervariasi, untuk nilai VMA (Void in The Mineral Agregat) atau rongga di antara mineral agregat pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 yaitu 22,24%, 25,80%, dan 19,40%. Dari hasil yang didapatkan nilai masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 10% + Abu Sekam Padi 0% tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA (Void in The Mineral Agregat) dari Bina Marga yaitu minimum 15%.

Nilai VIM (Void in Mix) atau rongga di dalam campuran pada benda uji 1, benda uji 2, dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu -1,27%, 3,37%, dan -4,95%. Dari

hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 10% + Abu Sekam Padi 0% tersebut hanya benda uji 2 yang mendapatkan hasil yang memenuhi spesifikasi pada Bina Marga. Sedangkan untuk benda uji 1 dan benda uji 3 memiliki nilai yang cukup rendah dan tidak memenuhi spesifikasi dalam Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Nilai VIM (Void in Mix) dari Bina Marga yaitu minimum 3% dan maksimum 5%.

Nilai VFB (Void Filled Bitumen) atau rongga dalam benda uji yang terisi aspal pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan nilai sebesar 105,70%, 86,93%, 125,53%. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 10% + Abu Sekam Padi 0% tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VFB (Void Filled Bitumen) dari Bina Marga yaitu minimum 65%.

Nilai Stabilitas pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan nilai sebesar 1678,71 kg, 1295,84 kg dan 1668,89 kg. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 10% + Abu Sekam Padi 0% tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi stabilitas dari Bina Marga yaitu minimum 800 kg.

Nilai Flow (kelelehan) pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu 2,18 mm, 4,00 mm dan 3,00 mm. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 10% + Abu Sekam Padi 0% tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi flow (kelelehan) dari Bina Marga yaitu minimum 2 mm dan maksimum 4 mm.

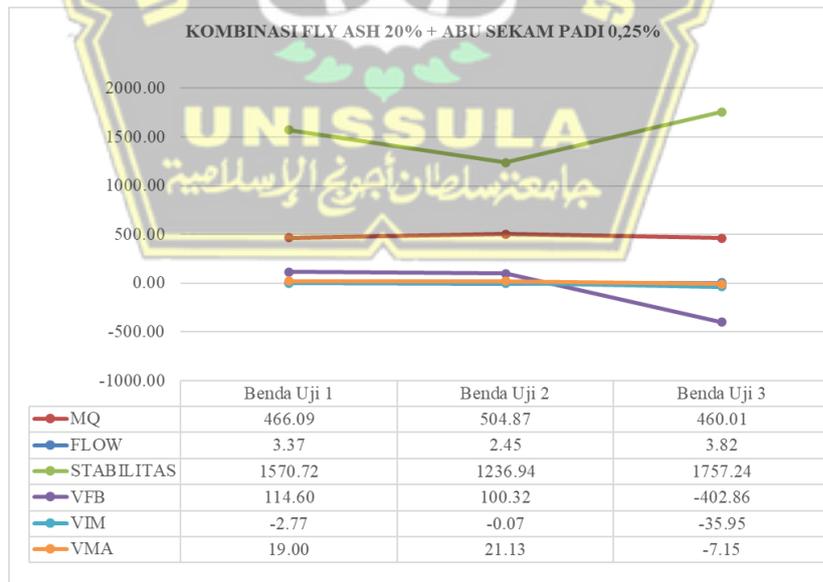
Nilai MQ (Marshall Quotient) pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu 770,05 kg/mm, 323,96 kg/mm dan 556,30 kg/mm. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 10% + Abu Sekam Padi 0% tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi MQ (Marshall Quotient) dari Bina Marga yaitu minimum 250 kg/mm.

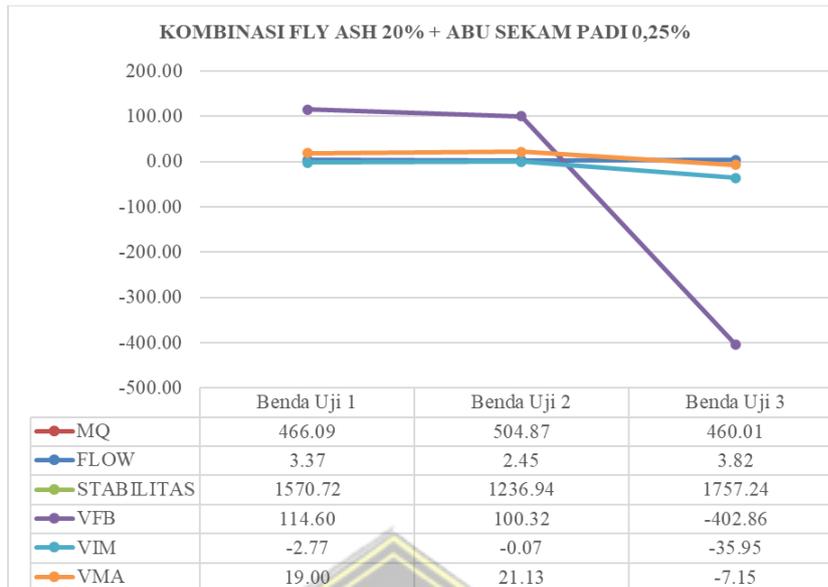
### 4.9.3 Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi Fly Ash 20% dan Abu Sekam Padi 0,25 %

**Tabel 4.26.** Hasil Marshall Kombinasi Fly Ash 20% + Abu Sekam Padi 0,25%

Kombinasi Fly Ash 20% + Abu Sekam Padi 0,25%																	
BI Aspal (T) :			1.034	BI Efektif Total Agregat (Gse)			2.516	BI Total Agg (Gsb) :			2.749	Kalibrasi Proving Ring =			9.817	Kg	
No benda uji	% Fly ash	% Abu Sekam Padi	kadar aspal	berat di udara	berat dalam air	berat ssd	volume isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg.(vma)	% rongga dalam camp (vim)	% rongga terisi aspal (vfb)	stabilitas dibaca arloji	Load (pembacaan arloji x Kal. Prov. Ring	kelelahan plastis (flow)	hasil bagi marshall (mq)	
				d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	
			% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	f-e	d / g	GMM	$\frac{100 - (100-c)h}{gab}$	$\frac{100 - (100-h)}{i}$	$\frac{100(j-k)}{i}$	(strip)	(kg)	(mm)	n / o	
			(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)				(kg/mm)	
Benda Uji 1	20%	0,25%	5,8	1189.0	681.0	1184.0	503.0	2.364	2.300	19.00	-2.77	114.60	160	1570.72	3.37	466.09	
Benda Uji 2	20%	0,25%	5,8	1183.0	686.0	1200.0	514.0	2.302	2.300	21.13	-0.07	100.32	126	1236.94	2.45	504.87	
Benda Uji 3	20%	0,25%	5,8	1232.0	708.0	1102.0	394.0	3.127	2.300	-7.15	-35.95	-402.86	179	1757.24	3.82	460.01	
Rata-rata	20%	0,25%	5,8	1201.3	691.7	1162.0	470.3	2.597	2.30	10.99	-12.93	-62.64	155	1521.64	3.21	473.5	

Setelah seluruh hasil data pengujian Marshall pada benda uji kombinasi Fly Ash 20% + Abu Sekam Padi 0,25% di rekap ke dalam bentuk tabel, maka selanjutnya seluruh data dibuat ke dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada **Grafik 4.3.** di bawah ini berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2.





**Grafik 4.3.** Hasil Marshall Kombinasi Fly Ash 20% + Abu Sekam Padi 0,25%

Dari grafik yang diperoleh pada **Grafik 4.3.** dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter Marshall Test mendapatkan hasil yang bervariasi, untuk nilai VMA (Void in The Mineral Agregat) atau rongga di antara mineral agregat pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 yaitu 19,00%, 21,13%, dan -7,15%. Dari hasil yang didapatkan nilai masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 20% + Abu Sekam Padi 0,25% tersebut yang telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga yaitu benda uji 1 dan benda uji 2. Sedangkan untuk benda uji 3 nilainya masih cukup rendah sehingga tidak memenuhi spesifikasi dalam Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA (Void in The Mineral Agregat) dari Bina Marga yaitu minimum 15%.

Nilai VIM (Void in Mix) atau rongga di dalam campuran pada benda uji 1, benda uji 2, dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu -2,77%, 0,07%, dan -35,95%. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 20% + Abu Sekam Padi 0,25% mendapatkan hasil yang cukup rendah sehingga belum memenuhi spesifikasi dalam Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Nilai VIM (Void in Mix) dari Bina Marga yaitu minimum 3% dan maksimum 5%.

Nilai VFB (Void Filled Bitumen) atau rongga dalam benda uji yang terisi aspal pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan nilai sebesar 114,60%, 100,32%, -402,86%. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 20% + Abu Sekam Padi 0,25% tersebut hanya benda uji 1 dan benda uji 2 yang telah

memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Sedangkan untuk benda uji 3 belum memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VFB (Void Filled Bitumen) dari Bina Marga yaitu minimum 65%.

Nilai Stabilitas pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan nilai sebesar 1570,72 kg, 1236,94 kg dan 1757,24 kg. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 20% + Abu Sekam Padi 0,25% tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi stabilitas dari Bina Marga yaitu minimum 800 kg.

Nilai Flow (kelelehan) pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu 3,37 mm, 2,45 mm dan 3,82 mm. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 20% + Abu Sekam Padi 0,25% tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi flow (kelelehan) dari Bina Marga yaitu minimum 2 mm dan maksimum 4 mm.

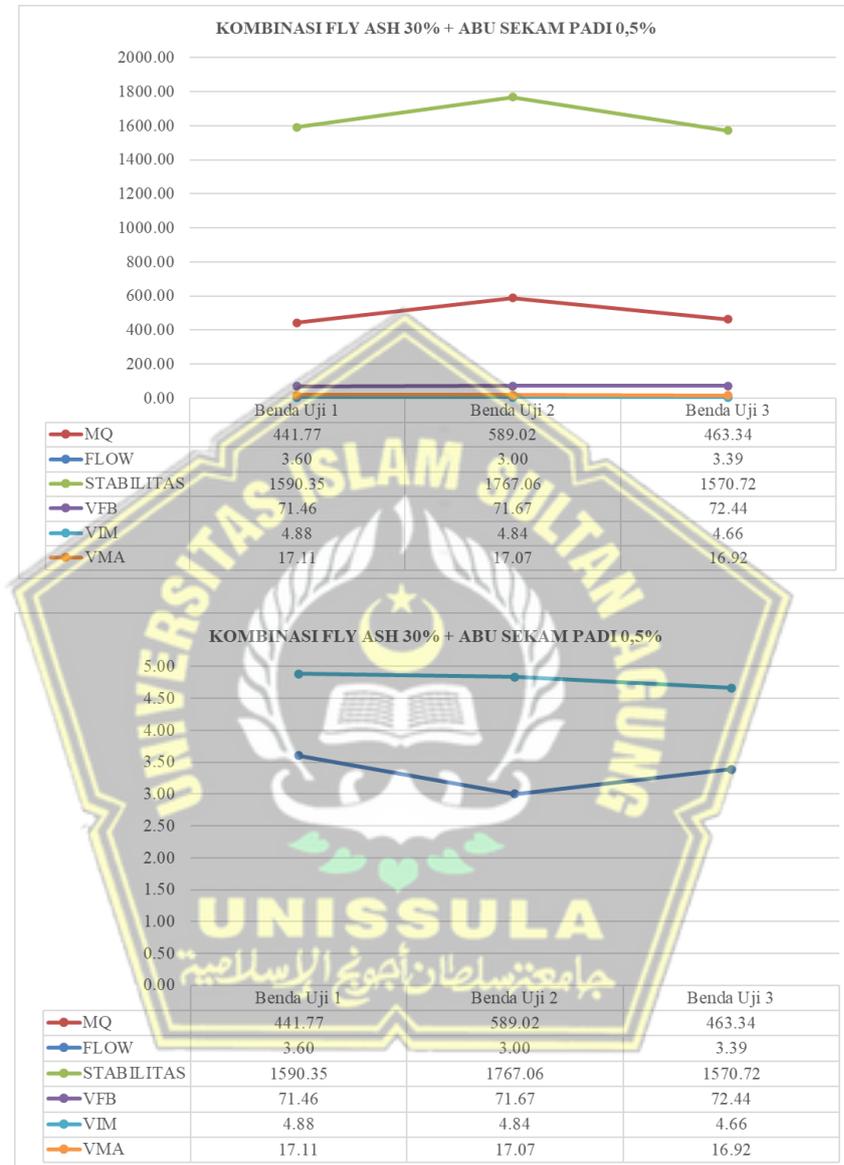
Nilai MQ (Marshall Quotient) pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu 446,09 kg/mm, 504,87 kg/mm dan 460,01 kg/mm. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 20% + Abu Sekam Padi 0,25% tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi MQ (Marshall Quotient) dari Bina Marga yaitu minimum 250 kg/mm.

#### 4.9.4 Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi Fly Ash 30% dan Abu Sekam Padi 0,5

**Tabel 4.27.** Hasil Marshall Kombinasi Fly Ash 30% + Abu Sekam Padi 0,5%

Kombinasi Fly Ash 30% + Abu Sekam Padi 0,5%																	
BJ Aspal (T) :			1.034	BJ Efektif Total Agregat (Gse)			2.516	BJ Total Agg (Gsb) :			2.749	Kalibrasi Proving Ring =			9.817	Kg	
No benda uji	% Fly ash	% Abu Sekam Padi	kadar aspal	berat di udara	berat dalam air	berat ssd	volume isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg (vma)	% rongga dalam camp (vim)	% rongga terisi aspal (vfb)	stabilitas dibaca arloji	Load (pembacaan arloji x Kal. Prov. Ring	kelelehan plastis (flow)	hasil bagi marshall (mq)	
				d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	
			% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	f-e	d / g	GMM	$100 - \frac{(100-e)h}{gsb}$	$100 - \frac{(100-h)i}{j}$	$\frac{100(j-k)}{i}$				n / o	
			(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	
Benda Uji 1	30%	0.5%	5.8	1132.0	677.0	1145.0	468.0	2.419	2.543	17.11	4.88	71.46	162	1590.35	3.60	441.77	
Benda Uji 2	30%	0.5%	5.8	1210.0	718.0	1218.0	500.0	2.420	2.543	17.07	4.84	71.67	180	1767.06	3.00	589.02	
Benda Uji 3	30%	0.5%	5.8	1154.0	688.0	1164.0	476.0	2.424	2.543	16.92	4.66	72.44	160	1570.72	3.39	463.34	
Rata-rata	30%	0.5%	5.8	1165.3	694.3	1175.7	481.3	2.421	2.543	17.04	4.80	71.86	167.33	1642.71	3.33	493.31	

Setelah seluruh hasil data pengujian Marshall pada benda uji kombinasi Fly Ash 30% + Abu Sekam Padi 0,5% di rekap ke dalam bentuk tabel, maka selanjutnya seluruh data dibuat ke dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada **Grafik 4.4.** di bawah ini berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2.



**Grafik 4.4.** Hasil Marshall Kombinasi Fly Ash 30% + Abu Sekam Padi 0,5%

Dari grafik yang diperoleh pada **Grafik 4.4.** dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter Marshall Test mendapatkan hasil yang bervariasi, untuk nilai VMA (Void in The Mineral Agregat) atau rongga di antara mineral agregat pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 yaitu 17,11%, 17,07%, dan 16,92%. Dari hasil yang didapatkan nilai masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 30%

+ Abu Sekam Padi 0,5% tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA (Void in The Mineral Agregat) dari Bina Marga yaitu minimum 15%.

Nilai VIM (Void in Mix) atau rongga di dalam campuran pada benda uji 1, benda uji 2, dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu 4,88%, 4,84%, dan 4,66%. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 30% + Abu Sekam Padi 0,5% telah memenuhi spesifikasi dalam Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Nilai VIM (Void in Mix) dari Bina Marga yaitu minimum 3% dan maksimum 5%.

Nilai VFB (Void Filled Bitumen) atau rongga dalam benda uji yang terisi aspal pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu 71,46%, 71,67%, 72,44%. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 30% + Abu Sekam Padi 0,5% tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VFB (Void Filled Bitumen) dari Bina Marga yaitu minimum 65%.

Nilai Stabilitas pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan nilai sebesar 1590,35 kg, 1767,06 kg dan 1570,72 kg. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 30% + Abu Sekam Padi 0,5% tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi stabilitas dari Bina Marga yaitu minimum 800 kg.

Nilai Flow (kelelehan) pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu 3,60 mm, 3,00 mm dan 3,39 mm. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 30% + Abu Sekam Padi 0,5% tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi flow (kelelehan) dari Bina Marga yaitu minimum 2 mm dan maksimum 4 mm.

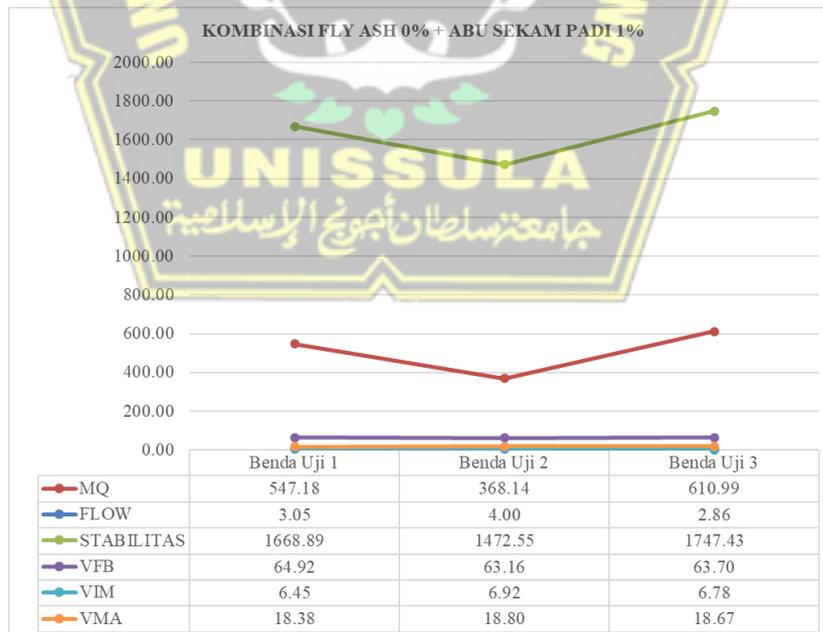
Nilai MQ (Marshall Quotient) pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu 441,77 kg/mm, 589,02 kg/mm dan 463,34 kg/mm. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 30% + Abu Sekam Padi 0,5% tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi MQ (Marshall Quotient) dari Bina Marga yaitu minimum 250 kg/mm.

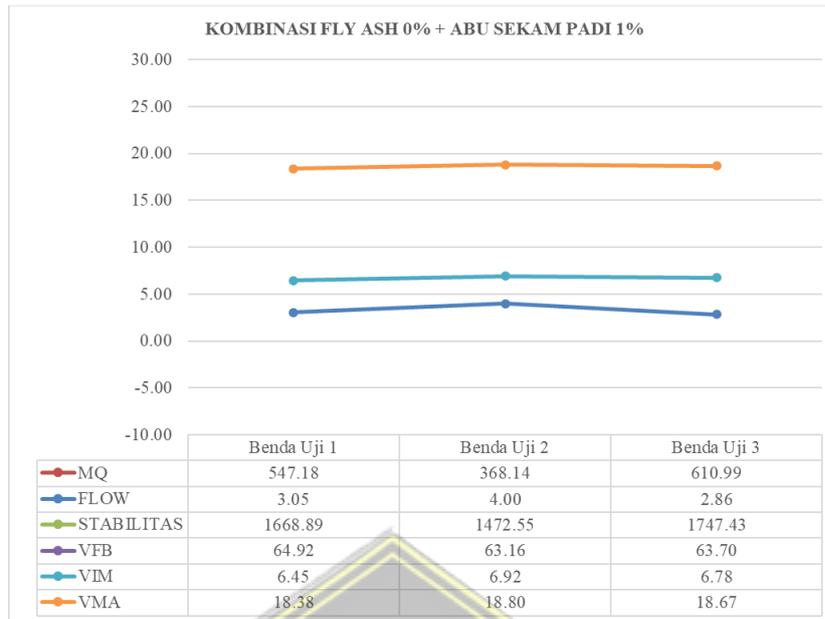
### 4.9.5 Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi Fly Ash 0% dan Abu Sekam Padi 1%

**Tabel 4.28.** Hasil Marshall Kombinasi Fly Ash 0% + Abu Sekam Padi 1%

Kombinasi Fly Ash 0% + Abu Sekam Padi 1%																		
BJ Aspal (T) :			1.034	BJ Efektif Total Agregat (Gse) :				2.516	BJ Total Agg (Gsb) :			2.749	Kalibrasi Proving Ring =				9.817 Kg	
No benda uji	% Fly ash	% Abu Sekam Padi	kadar aspal	berat di udara	berat dalam air	berat sgd	volume isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg.(vma)	% rongga dalam camp (vim)	% rongga terisi aspal (vfb)	stabilitas dibaca arloji	Load (pembacaan arloji x Kal. Prov. Ring	kelelahan plastis (flow)	hasil bagi marshall (mq)		
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p		
			% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	f-e	d / g	GMM	$100 - \frac{(100-e)h}{gsd}$	$100 - \frac{(100-k)}{i}$	$\frac{100(j-k)}{i}$				n / o		
			(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)		
Benda Uji 1	0%	1%	5.8	1179.0	696.0	1191.0	495.0	2.382	2.546	18.38	6.45	64.92	170	1668.89	3.05	547.18		
Benda Uji 2	0%	1%	5.8	1173.0	695.0	1190.0	495.0	2.370	2.546	18.80	6.92	63.16	150	1472.55	4.00	368.14		
Benda Uji 3	0%	1%	5.8	1182.0	692.0	1190.0	498.0	2.373	2.546	18.67	6.78	63.70	178	1747.43	2.86	610.99		
Rata-rata	0%	1%	5.8	1178.0	694.3	1190.3	496.0	2.375	2.546	18.62	6.72	63.93	166.00	1629.62	3.30	493.33		

Setelah seluruh hasil data pengujian Marshall pada benda uji kombinasi Fly Ash 0% + Abu Sekam Padi 1% di rekap ke dalam bentuk tabel, maka selanjutnya seluruh data dibuat ke dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada **Grafik 4.5.** di bawah ini berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2.





**Grafik 4.5.** Hasil Marshall Kombinasi Fly Ash 0% + Abu Sekam Padi 1%

Dari grafik yang diperoleh pada **Grafik 4.5.** dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter Marshall Test mendapatkan hasil yang bervariasi, untuk nilai VMA (Void in The Mineral Agregat) atau rongga di antara mineral agregat pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 yaitu 18,38%, 18,80%, dan 18,67%. Dari hasil yang didapatkan nilai masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 0% + Abu Sekam Padi 1% tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA (Void in The Mineral Agregat) dari Bina Marga yaitu minimum 15%.

Nilai VIM (Void in Mix) atau rongga di dalam campuran pada benda uji 1, benda uji 2, dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu 6,45%, 6,92%, dan 6,78%. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 0% + Abu Sekam Padi 1% tersebut memiliki nilai yang baik akan tetapi belum memenuhi spesifikasi dalam Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Nilai VIM (Void in Mix) dari Bina Marga yaitu minimum 3% dan maksimum 5%.

Nilai VFB (Void Filled Bitumen) atau rongga dalam benda uji yang terisi aspal pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu 64,92%, 63,16%, 63,70%. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 0% + Abu Sekam Padi 1% tersebut memiliki nilai yang cukup baik akan tetapi belum

memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VFB (Void Filled Bitumen) dari Bina Marga yaitu minimum 65%.

Nilai Stabilitas pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan nilai sebesar 1668,89 kg, 1472,55 kg dan 1747,43 kg. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 0% + Abu Sekam Padi 1% tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi stabilitas dari Bina Marga yaitu minimum 800 kg.

Nilai Flow (kelelehan) pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu 3,05 mm, 4,00 mm dan 2,86 mm. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 0% + Abu Sekam Padi 1% tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi flow (kelelehan) dari Bina Marga yaitu minimum 2 mm dan maksimum 4 mm.

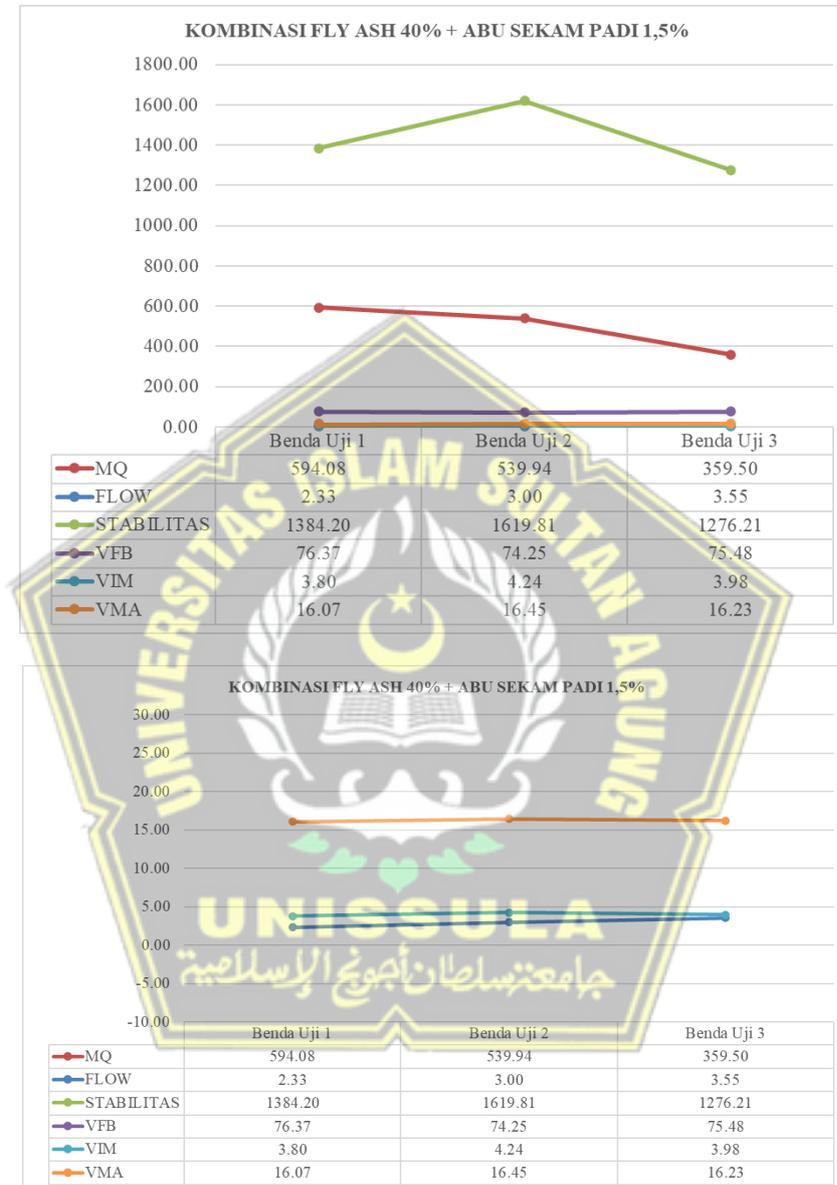
Nilai MQ (Marshall Quotient) pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu 547,18 kg/mm, 368,14 kg/mm dan 610,99 kg/mm. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 0% + Abu Sekam Padi 1% tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi MQ (Marshall Quotient) dari Bina Marga yaitu minimum 250 kg/mm.

#### 4.9.6 Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi Fly Ash 40% dan Abu Sekam Padi 1,5%

**Tabel 4.29.** Hasil Marshall Kombinasi Fly Ash 40% + Abu Sekam Padi 1,5%

Kombinasi Fly Ash 40% + Abu Sekam Padi 1,5%																		
BJ Aspal (T) :			1.034				BJ Efektif Total Agregat (Gse) :			2.516		BJ Total Agg (Gsb) :		2.749		Kalibrasi Proving Ring = 9.817 Kg		
No benda uji	% Fly ash	% Abu Sekam Padi	kadar aspal	berat di udara	berat dalam air	berat ssd	volume/isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg.(vma)	% rongga dalam camp (vim)	% rongga terisi aspal (vfb)	stabilitas dibaca arloji	Load (pembacaan arloji x Kal. Prov. Ring	kelelehan plastis (flow)	hasil bagi marshall (mq)		
																	a	b
			% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	f-e	d / g	GMM	$\frac{100 - (100-c)h}{gab}$	$\frac{100 - (100-h)}{i}$	$\frac{100(j-k)}{i}$				n / o		
			(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)		
Benda Uji 1	40%	1.5%	5.8	1112.0	672.0	1126.0	454.0	2.449	2.546	16.07	3.80	76.37	141	1384.20	2.33	594.08		
Benda Uji 2	40%	1.5%	5.8	1202.0	722.0	1215.0	493.0	2.438	2.546	16.45	4.24	74.25	165	1619.81	3.00	539.94		
Benda Uji 3	40%	1.5%	5.8	1149.0	689.0	1159.0	470.0	2.445	2.546	16.23	3.98	75.48	130	1276.21	3.55	359.50		
<b>Rata-rata</b>	<b>40%</b>	<b>1.5%</b>	<b>5.8</b>	<b>1154.3</b>	<b>694.3</b>	<b>1166.7</b>	<b>472.3</b>	<b>2.444</b>	<b>2.546</b>	<b>16.25</b>	<b>4.00</b>	<b>75.37</b>	<b>145.33</b>	<b>1426.74</b>	<b>2.96</b>	<b>482.01</b>		

Setelah seluruh hasil data pengujian Marshall pada benda uji kombinasi Fly Ash 40% + Abu Sekam Padi 1,5% di rekap ke dalam bentuk tabel, maka selanjutnya seluruh data dibuat ke dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada **Grafik 4.6.** di bawah ini berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2.



**Grafik 4.6.** Hasil *Marshall* Kombinasi *Fly Ash* 40% + Abu Sekam Padi 1,5%

Dari grafik yang diperoleh pada **Grafik 4.6.** dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter Marshall Test mendapatkan hasil yang bervariasi, untuk nilai VMA (Void in The Mineral Agregat) atau rongga di antara mineral agregat pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 yaitu 16,07%, 16,45%, dan 16,23%. Dari hasil yang didapatkan nilai masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 40%

+ Abu Sekam Padi 1,5% tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA (Void in The Mineral Agregat) dari Bina Marga yaitu minimum 15%.

Nilai VIM (Void in Mix) atau rongga di dalam campuran pada benda uji 1, benda uji 2, dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu 3,80%, 4,24%, dan 3,98%. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 40% + Abu Sekam Padi 1,5% tersebut telah memenuhi spesifikasi dalam Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Nilai VIM (Void in Mix) dari Bina Marga yaitu minimum 3% dan maksimum 5%.

Nilai VFB (Void Filled Bitumen) atau rongga dalam benda uji yang terisi aspal pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu 76,37%, 74,25%, 75,48%. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 40% + Abu Sekam Padi 1,5% tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VFB (Void Filled Bitumen) dari Bina Marga yaitu minimum 65%.

Nilai Stabilitas pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan nilai sebesar 1384,20 kg, 1619,81 kg dan 1276,21 kg. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 40% + Abu Sekam Padi 1,5% tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi stabilitas dari Bina Marga yaitu minimum 800 kg.

Nilai Flow (kelelehan) pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu 2,33 mm, 3,00 mm dan 3,55 mm. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 40% + Abu Sekam Padi 1,5% tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi flow (kelelehan) dari Bina Marga yaitu minimum 2 mm dan maksimum 4 mm.

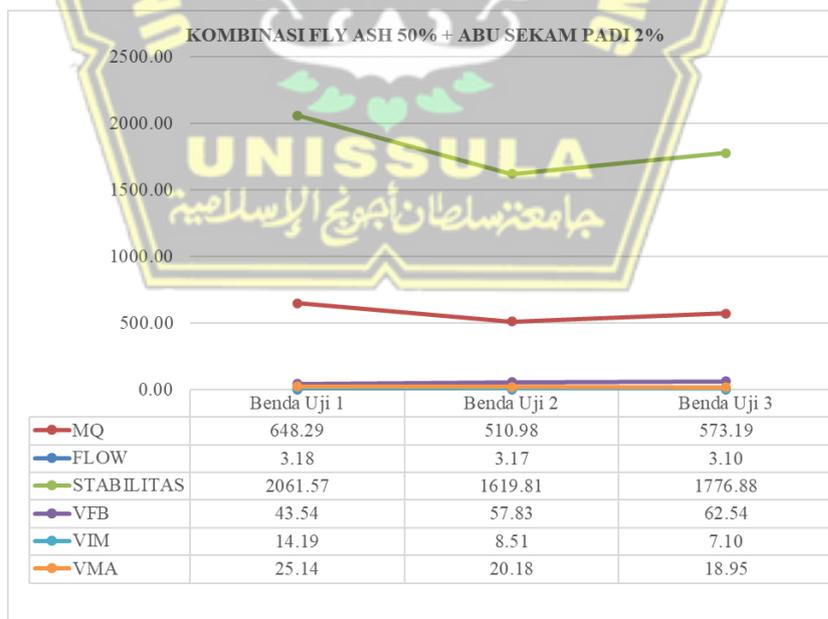
Nilai MQ (Marshall Quotient) pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu 594,08 kg/mm, 539,94 kg/mm dan 359,50 kg/mm. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 40% + Abu Sekam Padi 1,5% tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi MQ (Marshall Quotient) dari Bina Marga yaitu minimum 250 kg/mm.

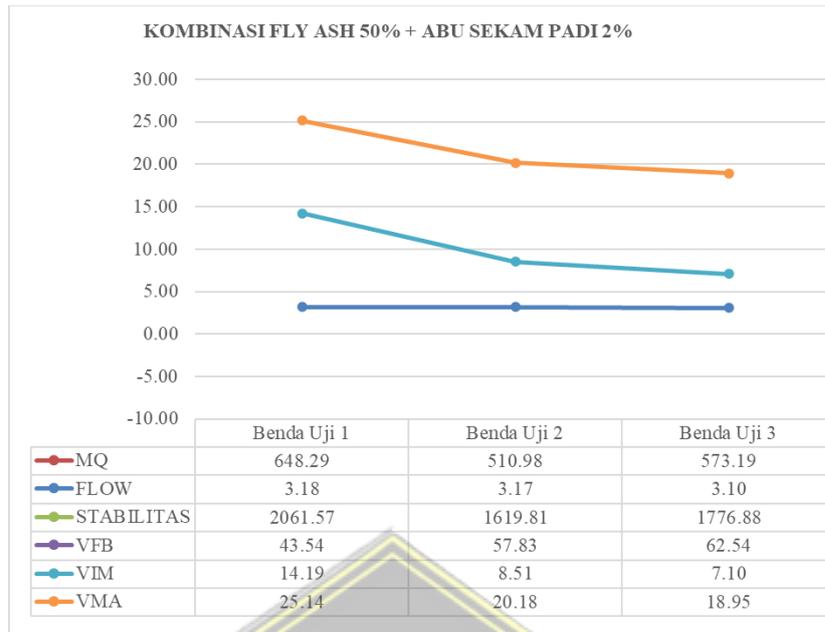
#### 4.9.7 Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi Fly Ash 50% dan Abu Sekam Padi 2%

Tabel 4.30. Hasil Marshall Kombinasi Fly Ash 50% + Abu Sekam Padi 2%

Kombinasi Fly Ash 50% + Abu Sekam Padi 2%																	
BJ Aspal (T) :			1.034	BJ Efektif Total Agregat (Gse) :				2.516	BJ Total Agg (Gsb) :			2.749	Kalibrasi Proving Ring =			9.817	Kg
No benda uji	% Fly ash	% Abu Sekam Padi	kadar aspal	berat di udara	berat dalam air	berat ssd	volume isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg.(vma)	% rongga dalam camp (vim)	% rongga terisi aspal (vfb)	stabilitas dibaca arloji	Load (pembacaan arloji x Kal. Prov. Ring	kelelahan plastis (flow)	hasil bagi marshall (mq)	
			a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
			% berat total campuran (%)	data timbang (gr)	data timbang (gr)	data timbang (gr)	f-e	d / g	GMM	$100 - \frac{100-c}{100-h} \frac{h}{gab}$ (%)	$100 - \frac{100-k}{100-h} \frac{h}{i}$ (%)	$\frac{100(j-k)}{i}$ (%)	(strip)	(kg)	(mm)	n / o (kg/mm)	
Benda Uji 1	50%	2%	5.8	1136.0	632.0	1152.0	520.0	2.185	2.546	25.14	14.19	43.54	210	2061.57	3.18	648.29	
Benda Uji 2	50%	2%	5.8	1174.0	604.0	1188.0	504.0	2.329	2.546	20.18	8.51	57.83	165	1619.81	3.17	510.98	
Benda Uji 3	50%	2%	5.8	1185.0	692.0	1193.0	501.0	2.365	2.546	18.95	7.10	62.54	181	1776.88	3.10	573.19	
Rata-rata	50%	2%	5.8	1165.0	669.3	1177.7	508.3	2.293	2.546	21.42	9.93	54.64	185.33	1819.42	3.15	577.59	

Setelah seluruh hasil data pengujian Marshall pada benda uji kombinasi Fly Ash 50% + Abu Sekam Padi 2% di rekap ke dalam bentuk tabel, maka selanjutnya seluruh data dibuat ke dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada **Grafik 4.7.** di bawah ini berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2.





**Grafik 4.7.** Hasil *Marshall* Kombinasi *Fly Ash* 50% + Abu Sekam Padi 2%

Dari grafik yang diperoleh pada **Grafik 4.7.** dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter Marshall Test mendapatkan hasil yang bervariasi, untuk nilai VMA (Void in The Mineral Agregat) atau rongga di antara mineral agregat pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 yaitu 25,14%, 20,18%, dan 18,95%. Dari hasil yang didapatkan nilai masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 50% + Abu Sekam Padi 2% tersebut mendapatkan hasil yang cukup baik dan telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA (Void in The Mineral Agregat) dari Bina Marga yaitu minimum 15%.

Nilai VIM (Void in Mix) atau rongga di dalam campuran pada benda uji 1, benda uji 2, dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu 14,19%, 8,51%, dan 7,10%. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 50% + Abu Sekam Padi 2% tersebut mendapatkan hasil yang cukup baik akan tetapi belum memenuhi spesifikasi dalam Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Nilai VIM (Void in Mix) dari Bina Marga yaitu minimum 3% dan maksimum 5%.

Nilai VFB (Void Filled Bitumen) atau rongga dalam benda uji yang terisi aspal pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu 43,54%, 57,83%, 62,54%. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 50% + Abu Sekam Padi 2% tersebut mendapatkan hasil yang masih rendah sehingga

belum memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VFB (Void Filled Bitumen) dari Bina Marga yaitu minimum 65%.

Nilai Stabilitas pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan nilai sebesar 2061,57 kg, 1619,81 kg dan 1776,88 kg. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 50% + Abu Sekam Padi 2% tersebut mendapatkan hasil yang cukup tinggi sehingga telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi stabilitas dari Bina Marga yaitu minimum 800 kg.

Nilai Flow (kelelehan) pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu 3,18 mm, 3,17 mm dan 3,10 mm. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 50% + Abu Sekam Padi 2% tersebut telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi flow (kelelehan) dari Bina Marga yaitu minimum 2 mm dan maksimum 4 mm.

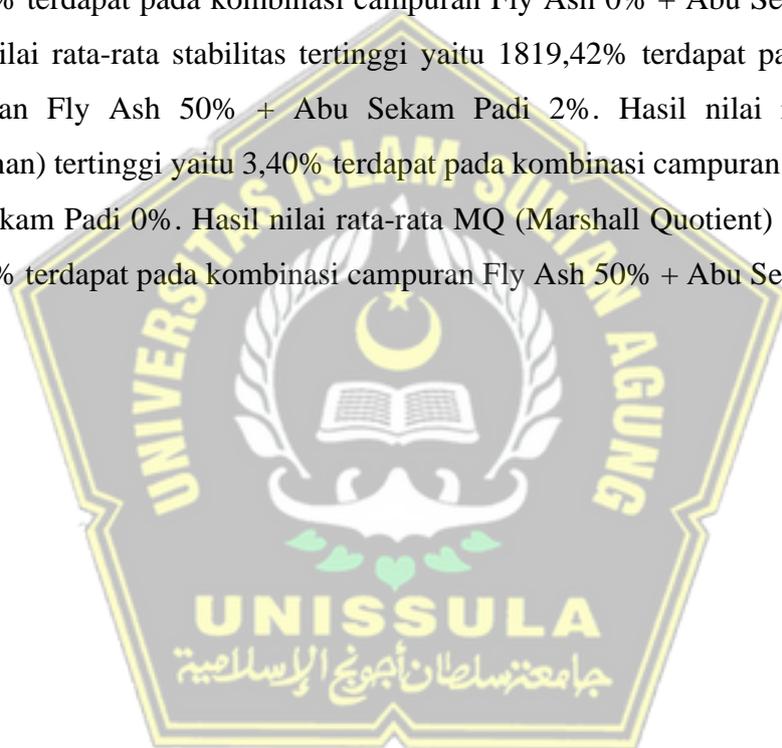
Nilai MQ (Marshall Quotient) pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 mendapatkan hasil yaitu 648,29 kg/mm, 510,98 kg/mm dan 573,19 kg/mm. Dari hasil masing-masing benda uji kombinasi Fly Ash 50% + Abu Sekam Padi 2% tersebut mendapatkan hasil yang cukup baik telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi MQ (Marshall Quotient) dari Bina Marga yaitu minimum 250 kg/mm.

#### 4.10 Hasil Rekapitulasi

**Tabel 4.31.** Rekapitulasi Hasil Rata-Rata Pengujian *Marshall*

Rekapitulasi Rata-Rata Setiap Pengujian Campuran																									
BJ Aspal (T) :		1.034			BJ Efektif Total Agregat (Gse) :			1.034			BJ Total Agg (Gsb) :			2.749			Kalibrasi Proving Ring =			9.817			Kg		
No benda uji	kadar aspal	berat di udara	berat dalam air	berat ssd	volume isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg.(vma)	% rongga dalam camp (vim)	% rongga terisi aspal (vrb)	stabilitas dibaca ariaji	Load (pembacaan ariaji x Kal. Prov. Ring	kelelehan plastis (flow)	hasil bagi marshall (mq)											
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n											
	% berat total campuran (%)	data timbang (gr)	data timbang (gr)	data timbang (gr)	d-c	b / e	GMM	$100 - \frac{(100-a)f}{gsb}$	$100 - \frac{(100-f)}{g}$	$\frac{100(h-i)}{h}$	(strip)	(kg)	(mm)	l / m (kg/mm)											
Filler Fly Ash																									
<i>Fly Ash 0% + Abu Sekam Padi 0%</i>	5.8%	1182.00	692.67	1196.67	504.00	2.35	1.98	19.40	-18.55	205.06	161.00	1580.54	3.40	465.32											
<i>Fly Ash 10% + Abu Sekam Padi 0%</i>		1179.33	667.00	1189.00	522.00	2.26	2.24	22.48	-0.95	106.05	157.67	1547.81	3.06	505.82											
<i>Fly Ash 20% + Abu Sekam Padi 0.25%</i>		1201.33	691.67	1162.00	470.33	2.60	2.30	10.99	-12.93	-62.64	155.00	1521.64	3.21	473.54											
<i>Fly Ash 30% + Abu Sekam Padi 0.5%</i>		1165.33	694.33	1175.67	481.33	2.42	2.54	17.04	4.80	71.86	167.33	1642.71	3.33	493.31											
<i>Fly Ash 0% + Abu Sekam Padi 1%</i>		1178.00	694.33	1190.33	496.00	2.38	2.55	18.62	6.72	63.93	166.00	1629.62	3.30	493.33											
<i>Fly Ash 40% + Abu Sekam Padi 1.5%</i>		1154.33	694.33	1166.67	472.33	2.44	2.55	16.25	4.00	75.37	145.33	1426.74	2.96	482.01											
<i>Fly Ash 50% + Abu Sekam Padi 2%</i>		1165.00	669.33	1177.67	508.33	2.29	2.55	21.42	9.93	54.64	185.33	1819.42	3.15	577.59											
<b>NILAI TERTINGGI</b>			1201.33	694.33	1196.67	522.00	2.60	2.55	22.48	9.93	205.06	185.33	1819.42	3.40	577.59										
<b>NILAI TENGAH</b>		1178.00	692.67	1177.67	496.00	2.38	2.54	18.62	4.00	71.86	161.00	1580.54	3.21	493.31											
<b>NILAI TERENDAH</b>		1154.33	667.00	1162.00	470.33	2.26	1.98	10.99	-18.55	-62.64	145.33	1426.74	2.96	465.32											

Pada **Tabel 4.31.** di atas merupakan hasil rekapitulasi pengujian dari seluruh komposisi benda uji yang telah dibuat. Dari tabel tersebut, terdiri atas 7 sampel komposisi benda uji yang mana didapatkan hasil nilai rata-rata VMA (Void in The Mineral Aggregates) tertinggi yaitu 22,48% terdapat pada kombinasi campuran Fly Ash 10% + Abu Sekam Padi 0%. Hasil nilai rata-rata VIM (Void in The Mix) tertinggi yaitu 9,93% terdapat pada kombinasi campuran Fly Ash 50% + Abu Sekam Padi 2%. Hasil nilai rata-rata VFB (Void Filled Bitumen) tertinggi yaitu 205,06% terdapat pada kombinasi campuran Fly Ash 0% + Abu Sekam Padi 0%. Hasil nilai rata-rata stabilitas tertinggi yaitu 1819,42% terdapat pada kombinasi campuran Fly Ash 50% + Abu Sekam Padi 2%. Hasil nilai rata-rata flow (kelelehan) tertinggi yaitu 3,40% terdapat pada kombinasi campuran Fly Ash 0% + Abu Sekam Padi 0%. Hasil nilai rata-rata MQ (Marshall Quotient) tertinggi yaitu 577,59% terdapat pada kombinasi campuran Fly Ash 50% + Abu Sekam Padi 2%.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

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

1. Berdasarkan hasil pengujian sifat reologi aspal yang telah dilakukan, didapatkan hasil penetrasi dengan nilai rata-rata 65 mm. Hasil pengujian titik nyala didapatkan nilai rata-rata 314°C. Hasil pengujian titik lembek mendapatkan nilai 51,7°C. Hasil pengujian viskositas didapatkan dengan nilai paling tinggi dengan suhu 180 °C, 137 cst. Kemudian untuk pengujian Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk beberapa variasi yaitu pada kadar 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% diperoleh pada kadar 5,8%.
2. Berdasarkan hasil pengujian *Marshall* yang telah dilakukan, substitusi abu *fly ash* dan abu sekam padi pada abu batu dengan kadar yang ditambah maka terjadi peningkatan stabilitas. Nilai stabilitas keseluruhan memenuhi spesifikasi Bina Marga. Nilai VIM (*Void in The Mineral Agregat*) dan VMA (*Void in The Mineral Agregat*) juga ikut terpengaruhi. Nilai VMA (*Void in The Mineral Agregat*) hampir keseluruhan memenuhi spesifikasi kecuali pada kombinasi *Fly Ash* 20% + Abu Sekam Padi 0,25%. Nilai VIM (*Void in The Mix*) yang memenuhi spesifikasi pada Bina Marga hanya pada benda uji dengan kombinasi kadar *Fly Ash* 30% + Abu Sekam Padi 0% dan kadar *Fly Ash* 40% + Abu Sekam Padi 1,5%. Nilai Flow, VFB dan MQ (*Marshall Quotient*) keseluruhan memenuhi spesifikasi. *Job Mix Design* terbaik terdapat pada terdapat pada komposisi *Fly Ash* 30% + Abu Sekam Padi 0,5%.
3. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, semakin ditambah kadar substitusi *fly ash* dan abu sekam padi maka rongga campuran aspal beton semakin kecil sehingga campuran lebih kedap air dan *gap* (ruang kosong) antar agregat juga semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa *fly ash* dan abu sekam padi berfungsi mengisi kekosongan agregat sehingga menjadi pengunci (*interlocking*) dalam campuran aspal beton. Dengan ini dapat ditarik kesimpulan

bahwa hasil dari komposisi kombinasi *fly ash* dan abu sekam padi dapat menjadi bahan substitusi alternatif pada modifikasi campuran perkerasan aspal khususnya pada lapisan AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*).

## 5.2. Saran

Dari penelitian ini dapat dikemukakan beberapa saran untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat pada penelitian berikutnya, di antaranya:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan menggunakan variasi aspal penggunaan limbah *Fly Ash* dan Abu Sekam Padi pada campuran beraspal untuk mengurangi pencemaran lingkungan dan produksi karbon yang berlebihan serta memanfaatkan adanya limbah yang ada.
2. Menjaga kondisi ruangan agar tidak ada angin yang dapat mempengaruhi penimbangan material.
3. Penumbukan benda uji dengan menggunakan mesin *Compaction* ataupun manual harus lebih akurat.
4. *Asphalt Concrete Wearing Course* Modifikasi ini perlu di kaji ulang kembali.

