

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN *FLY ASH* DAN ABU SEKAM PADI PADA ASPAL BETON (AC-WC) TERHADAP STABILITAS DAN DURABILITAS

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



Disusun Oleh

Dzaky Daniswara Wahyudi

30202100073

Farid Fardan Ramdhani

30202100085

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

2025

LEMBAR PENGESAHAN

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

Diajukan oleh :



Dzaky Daniswara Wahyudi
NIM : 30202100073



Farid Fardan Ramdhani
NIM : 30202100085

Telah disetujui dan disahkan di Semarang :

2025

Penguji :

1. Ir.H.Rachmat Mudiyono,M.T.,Ph.D.

NIDN : 0611118903

Tanda Tangan

.....

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

NIDN : 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No : 07 / A.2 / SA – T / IX / 2025

Pada hari ini tanggal 20 Maret 2025 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing :

Nama : Ir. H. Rachmat Mudiyo, M.T., Ph.D.

Jabatan : Dosen Pembimbing Utama

Dengan ini dinyatakan bahwa mahasiswa yang namanya tercantum di bawah telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Dzaky Daniswara Wahyudi

NIM : 30202100073

Farid Fardan Ramdhani

NIM : 30202100085

Judul : “ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN *FLY ASH* DAN *ABU SEKAM PADI* PADA ASPAL BETON (AC-WC) TERHADAP STABILITAS DAN DURABILITAS”

Dengan tahapan Sebagai Berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan Dosen Pembimbing	20/03/2025	ACC
2	Seminar Proposal	14/05/2025	ACC
3	Pengumpulan Data	01/06/2025	ACC
4	Analisis Data		
5	Penyusunan Laporan		
6	Selesai Laporan		

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir ini dibuat sebagai bentuk pemberitahuan dan dapat digunakan sebagaimana mestinya oleh pihak-pihak terkait.

Dosen Pembimbing

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir.H.Rachmat Mudiyo, M.T., Ph.D.

Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

1. NAMA : Dzaky Daniswara Wahyudi
NIM : 30202100073
2. NAMA : Farid Fardan Ramdhani
NIM : 30202100085

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

“ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN *FLY ASH* DAN ABU SEKAM PADI PADA ASPAL BETON (AC-WC) TERHADAP STABILITAS DAN DURABILITAS”

Saya menyatakan bahwa karya ini bebas dari plagiat, dan jika pernyataan tersebut terbukti salah, saya siap menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk digunakan sesuai keperluan.



Semarang, 2025
Yang Membuat Pernyataan,

Dzaky Daniswara Wahyudi
NIM : 30202100073

Farid Fardan Ramdhani
NIM : 30202100085

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

1. NAMA : Dzaky Daniswara Wahyudi
NIM : 30202100073
2. NAMA : Farid Fardan Ramdhani
NIM : 30202100085

Judul : “ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN *FLY ASH* DAN ABU SEKAM PADI PADA ASPAL BETON (AC-WC) TERHADAP STABILITAS DAN DURABILITAS”

Dengan sesungguhnya saya menyatakan bahwa Tugas Akhir ini adalah hasil penelitian, pemikiran, dan penyajian sendiri. Saya tidak memasukkan materi yang pernah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh pihak lain tanpa pengakuan, maupun yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar atau ijazah di Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Jika di kemudian hari ditemukan adanya ketidaksesuaian atau ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya siap menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Semarang, 2025
Yang Membuat Pernyataan,

Dzaky Daniswara Wahyudi
NIM : 30202100073

Farid Fardan Ramdhani
NIM : 30202100085

MOTTO

فَاسْتَبِقُوا الْخَيْرَاتِ

Artinya: berlomba-lombalah kamu dalam berbagai kebajikan.

(QS Al-Baqarah: 148)

وَاصْبِرْ عَلَىٰ مَا أَصَابَكَ إِنَّ ذَٰلِكَ مِنْ عَزْمِ الْأُمُورِ

Artinya: bersabarlah terhadap apa yang menimpamu. Sesungguhnya yang demikian itu termasuk urusan yang (harus) diutamakan.

(QS. Luqman: 17)

لَا يُكَلِّفُ اللَّهُ نَفْسًا إِلَّا وُسْعَهَا

Artinya: Allah tidak membebani seseorang, kecuali menurut kesanggupannya.

(QS. Al-Baqarah: 286)

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

Artinya: 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 Imron: 110)

MOTTO

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

Artinya: 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 Imron: 110)

إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

Artinya: Sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan. (QS. Al-Insyirah: 6)

“Mungkin kita sampai, Mungkin saja tidak
Tugas kita hanyalah berjalan”

(The Jeblogs – Sambutlah)

”Berbahagialah wahai para tersepelekan, dengan begitu kau dan aku punya
kesempatan besar untuk melanjutkan”

(Farid Stevy)

”Melamban bukanlah hal yang tabu, kadang itu yang kau butuh.
Bersandar hibahkan bebanmu”

(Perunggu – 33x)

PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat serta hidayah-Nya yang senantiasa saya rasakan hingga kini. Karya Tugas Akhir ini saya dedikasikan untuk:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Teguh Wahyudi dan Ibu Yuni Astuti, saya menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam atas doa, dorongan, motivasi, dukungan, serta pengorbanan tanpa batas, baik secara materi maupun moril. Sebagai wujud bakti, hormat, dan penghargaan, saya mempersembahkan Tugas Akhir ini beserta gelar Sarjana kepada Bapak dan Ibu.
2. Saudara-saudari saya yang senantiasa memberikan dorongan, dukungan, serta doa selama proses menempuh pendidikan dan menyelesaikan Tugas Akhir, sekaligus menjadi sumber hiburan di saat kejenuhan melanda, saya ucapkan terima kasih yang tulus.
3. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing, saya menyampaikan apresiasi dan terima kasih atas kesediaannya membagikan ilmu, memberikan arahan, semangat, serta dorongan yang tak pernah surut hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
4. Seluruh dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung, saya menyampaikan terima kasih atas ilmu dan bimbingan yang telah diberikan selama masa studi.
5. Farid Fardan Ramdhani, rekan dalam pengerjaan Tugas Akhir, terima kasih atas perjuangan bersama dalam menyelesaikan penelitian ini, serta atas kebersamaan dalam melewati berbagai suka dan duka selama proses pengerjaannya.
6. Kepada NIP 052025593, Terimakasih telah berjasa dalam penulisan tugas akhir, yang selalu menemani dalam suka dan duka serta selalu mendengarkan keluh kesah penulis.
7. Sahabat dan teman-teman saya, Engginering Bois, dan KMFT'21 yang selalu memberikan dukungan selama penulis mengerjakan Tugas Akhir.

Dzaky Daniswara W
NIM : 30202100073

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya yang senantiasa menyertai hingga saat ini. Karya Tugas Akhir ini saya dedikasikan untuk:

1. Kepada kedua orang tua tercinta, Bapak Ngatono dan Ibu Asrofah, saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas doa, semangat, motivasi, dukungan, serta pengorbanan tak ternilai, baik secara materi maupun moril. Sebagai wujud bakti, hormat, dan rasa terima kasih, saya mempersembahkan Tugas Akhir ini beserta gelar Sarjana kepada Bapak dan Ibu.
2. Kakak dan Kakak ipar saya Rifqi Renaldi Deva Saputra dan Rachma Isna yang selalu memberi semangat, dukungan, dan doa selama menempuh pendidikan dan mengerjakan Tugas Akhir.
3. Kepada Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing, saya menyampaikan terima kasih atas kesabaran dan ketulusannya dalam membagikan ilmu, memberikan arahan, semangat, serta dorongan yang tak pernah surut hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
4. Kepada seluruh dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung, saya mengucapkan terima kasih atas segala ilmu yang telah dibagikan selama masa studi.
5. Kepada Dzaky Daniswara Wahyudi, rekan seperjuangan dalam Tugas Akhir, terima kasih atas kebersamaan dalam menyelesaikan penelitian ini serta atas dukungan dan kerja sama melewati berbagai suka dan duka selama proses pengerjaannya.
6. Kepada NIM 3430210043, terima kasih karena selalu menemani dalam keadaan suka maupun duka, yang selalu mendengarkan keluh kesah serta memberikan dukungan dan masukan hingga saat ini.
7. Sahabat dan teman-teman Aulia Rosyida Kusumadewi, Engginering Bois, SSC, Harapan Orang Tua, Kontrakan Purwodadi, dan KMFT'21 yang selalu memberikan dukungan selama penulis mengerjakan Tugas Akhir.

Farid Fardan Ramdhani
NIM : 30202100085

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, segala puji syukur kami panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala, karena berkat rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, Laporan Tugas Akhir yang berjudul “ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN *FLY ASH* DAN *ABU SEKAM PADI* PADA ASPAL BETON (*AC-WC*) TERHADAP STABILITAS DAN DURABILITAS” ini dapat kami selesaikan.

Laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan berkat pertolongan Allah, Tuhan Yang Maha Penolong, serta dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, saya ingin menyampaikan ucapan terima kasih 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, sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Ir.H.Rachmat Mudiyo, M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan, kesabaran dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
4. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, menjabat sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil di Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki berbagai kekurangan, baik dari segi isi maupun penyusunan penulisannya. Harapannya, karya ini dapat memberikan manfaat tidak hanya bagi penulis, tetapi juga bagi semua pihak yang membacanya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Semarang, 2025

Dzaky Daniswara Wahyudi
Farid Fardan Ramdhani

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO.....	XII
MOTTO.....	XIII
PERSEMBAHAN	XIV
PERSEMBAHAN	XV
KATA PENGANTAR	XVI
DAFTAR ISI.....	XVII
Abstrak	XIX
BAB I PENDAHULUAN.....	2
1.1 Latar Belakang.....	2
1.2 Rumusan masalah.....	3
1.3 Tujuan penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat penelitian.....	4
1.6 Keaslian Kajian	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Klasifikasi Jalan.....	6
2.1.1 Jalan Arteri.....	6
2.1.2 Jalan Kolektor	6
2.1.3 Jalan Lokal.....	7
2.1.4 Jalan Lingkungan.....	7
2.2 Jenis Perkerasan Jalan	7
2.2.1 Perkerasan Lentur (<i>Flexible Pavement</i>).....	7
2.2.2 Perkerasan Kaku	8
2.2.3 Perkerasan Komposit	8
2.3 Strukur Perkerasan Jalan Lentur.....	9

2.3.1 Lapisan Permukaan (<i>Surface Course</i>)	9
2.3.2 Lapisan Pondasi Atas (<i>Base Course</i>).....	9
2.3.3 Lapisan Pondasi Bawah (<i>subbase Course</i>).....	9
2.3.4 Lapisan Tanah Dasar (<i>subgrade</i>).....	10
2.4 Aspal, Agregat, dan Bahan Pengisi	10
2.4.1 Definisi Aspal	10
2.4.2 Jenis-Jenis Lapisan Aspal	11
2.4.3 Jenis-Jenis Agregat	13
2.4.4 Bahan Pengisi (<i>filler</i>)	15
2.5 Sifat Bahan Tambah Pada Aspal	15
2.5.1 Karakteristik <i>Fly Ash</i>	15
2.5.2 Manfaat Penggunaan <i>Fly Ash</i>	16
2.5.3 Karakteristik Abu Sekam	17
2.5.4 Manfaat Penggunaan Abu Sekam Padi	18
2.6 Metode Pengujian Marshall.....	18
2.6.1 Formula untuk Menghitung Parameter-parameter <i>Marshall</i>	19
2.6.2 Parameter Yang Diuji	21
2.7 Penelitian Terdahulu.....	23
BAB III METODOLOGI.....	28
3.1 Tipe Penelitian.....	28
3.2 Alat Dan Bahan Penelitian	28
3.2.1 Kebutuhan Bahan dan Material	28
3.2.2 Peralatan yang Dipakai	28
3.3 Pengumpulan Data.....	30
3.4 Metode Pengolahan Data.....	30
3.5 Pemeriksaan Karakteristik <i>Marshall</i>	31
3.5.1 Pemeriksaan agregat kasar dan halus.....	31
3.5.2 Pemeriksaan sifat fisis aspal	32
3.6 Rancangan Campuran Aspal Beton.....	32
3.7 Bagan Alur Penelitian.....	42
3.8 Jadwal Penyelesaian TA.....	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1. Pendahuluan	44
4.2. Pengujian Material.....	47

4.2.1.	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Penetrasi 60/70	47
4.2.2.	Pengujian Gradasi <i>Aggregate</i>	48
4.2.3.	Pengujian Gradasi <i>Aggregate Hot Bin II</i>	49
4.2.4.	Pengujian Gradasi <i>Aggregate Hot Bin III</i>	49
4.2.5.	Pengujian Gradasi <i>Aggregate Hot Bin IV</i>	50
4.2.6.	Pengujian Pasir.....	51
4.2.7.	Pengujian <i>Filler</i> (Semen).....	52
4.2.8.	Hasil Pengujian <i>Fly Ash</i>	53
4.2.9.	Hasil Perhitungan Kombinasi Agregat.....	54
4.3.	Hasil Perhitungan Kombinasi.....	56
4.4.	Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (AASHTO-209s).....	56
4.4.1.	Pengujian Berat Jenis Dengan Campuran Komposisi Normal	56
4.4.2.	Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>)	57
4.4.3.	Ringkasan Hasil Pengujian	58
4.5.	Pembuatan Benda Uji.....	59
4.6.	Pemeriksaan Berat Jenis Campuran (GMM) Pada Aspal Modifikasi	60
4.6.1.	Berat Jenis Campuran Substitusi <i>Fly Ash</i> 0% - 1% (SF0A0-SF1A0) dan Bahan Tambah Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%).....	60
4.6.2.	Berat Jenis Campuran Substitusi <i>Fly Ash</i> 1% - 3% (SF1A2-SF3A2) dan Bahan Tambah Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%).....	61
4.6.3.	Berat Jenis Campuran Substitusi <i>Fly Ash</i> 3% - 5% (SF3A4-SF5A6) dan Bahan Tambah Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%).....	62
4.7.	Hasil Pemeriksaan <i>Marshall Test</i>	63
4.7.1.	Hasil <i>Marshall Test</i> Benda Uji Kombinasi <i>Fly Ash</i> 0% Dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	64
4.7.2.	Hasil <i>Marshall Test</i> Benda Uji Kombinasi <i>Fly Ash</i> 1% Dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	71
4.7.3.	Hasil <i>Marshall Test</i> Benda Uji Kombinasi <i>Fly Ash</i> 3% Dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	79
4.7.4.	Hasil <i>Marshall Test</i> Benda Uji Kombinasi <i>Fly Ash</i> 5% Dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	88
	Grafik 4. 25. Pengujian Gradasi <i>Aggregate Hot Bin II</i>	94
4.7.1.	Rekapitulasi Hasil <i>Marshall Test</i>	96
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		104
5.1.	Kesimpulan.....	104

5.2. Saran.....	105
DAFTAR PUSTAKA	24



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Lapisan Perkerasan Lentur	7
Gambar 2. 2 Lapisan Perkerasan Kaku	8
Gambar 2. 3 Lapisan Perkerasan Komposit	8
Gambar 3. 1 Bagan Alur Penelitian.....	42
Gambar 4. 1 Stone Crusher PT. Semarang Multicon	44
Gambar 4. 2 Asphalt Mixing Plant (AMP) PT. Semarang Multicon	45
Gambar 4. 3 Aspal Penetrasi 60/70	45
Gambar 4. 4 Fly Ash.....	46
Gambar 4. 5 Abu Sekam.....	46
Gambar 4. 6 Pengujian Marshall	63



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC)	12
Tabel 2. 3 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston Modifikasi (AC)	12
Tabel 2. 4 Tebal Nominal Minimum Campuran Beraspal	13
Tabel 2. 5 Ketentuan Agregat Kasar	13
Tabel 2. 6 Ketentuan Agregat Halus	14
Tabel 2. 7 Gradasi Agregat untuk Menentukan KAO	14
Tabel 2. 8 Penelitian Terdahulu.....	23
Tabel 3. 1 Job Mix Design Aspal Beton Normal	33
Tabel 3. 2 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 0% dan Abu Sekam 2%	33
Tabel 3. 3 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 0% dan Abu Sekam 4%	33
Tabel 3. 4 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 0% dan Abu Sekam 6%	34
Tabel 3. 5 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 1% dan Abu Sekam 0%	34
Tabel 3. 6 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 1% dan Abu Sekam 2%	35
Tabel 3. 7 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 1% dan Abu Sekam 4%	35
Tabel 3. 8 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 1% dan Abu Sekam 6%	36
Tabel 3. 9 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 3% dan Abu Sekam 0%	36
Tabel 3. 10 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 3% dan Abu Sekam 2%	37
Tabel 3. 11 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 3% dan Abu Sekam 4%	37
Tabel 3. 12 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 3% dan Abu Sekam 6%	38
Tabel 3. 13 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 5% dan Abu Sekam 0%	38
Tabel 3. 14 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 5% dan Abu Sekam 2%	39
Tabel 3. 15 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 5% dan Abu Sekam 4%	39
Tabel 3. 16 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 5% dan Abu Sekam 6%	40
Tabel 3. 17 Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Oprimum.....	41
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Penetrasi 60/70	47
Tabel 4. 2 Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat	48
Tabel 4. 3 Pengujian Gradasi <i>Aggregat Hot Bin II</i>	49
Tabel 4. 4 Hasil Analisa Pembagian Butiran Hot Bin III	50

Tabel 4. 5 Hasil Analisa Pembagian Hot Bin IV	51
Tabel 4. 6. Hasil Analisa Pembagian Butiran Pasir	52
Tabel 4. 7. Hasil Analisa Pembagian Butiran Filler (Semen)	52
Tabel 4. 8. Hasil Analisa Pembagian Butiran	53
Tabel 4. 9. Perhitungan Kombinasi Agregat	54
Tabel 4. 10. Pemeriksaan Berat Jenis Komposisi Normal	57
Tabel 4. 11. Rincian Benda Uji	58
Tabel 4. 12. Komposisi Material AC - WC	59
Tabel 4. 13. Modifikasi dan Variasi Benda Uji	60
Tabel 4. 14. Pemeriksaan berat jenis Campuran Fly Ash 0% - 1% (SF0A0-SF1A0) dan bahan tambah Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%)	61
Tabel 4. 15. Pemeriksaan berat jenis Campuran Fly Ash 1% - 3% (SF1A2-SF3A2) dan bahan tambah Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%)	61
Tabel 4. 16. Pemeriksaan berat jenis Campuran Fly Ash 3% - 5% (SF3A4-SF5A6) dan bahan tambah Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%)	62
Tabel 4. 17. Hasil Marshall Komposisi Fly Ash 0% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	64
Tabel 4. 18. Hasil Marshall Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	72
Tabel 4. 19. Rekap Hasil Rata-Rata Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	79
Tabel 4. 20. Hasil Marshall Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	80
Tabel 4. 21. Rekap Hasil Rata-Rata Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	87
Tabel 4. 22. Hasil Marshall Komposisi Fly Ash 5% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	88
Tabel 4. 23. Rekap Hasil Rata-Rata Komposisi Fly Ash 5% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	95
Tabel 4. 24. Rekapitulasi Marshall Test	96

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Kombinasi Gradasi Agregat	55
Grafik 4. 2. VIM Komposisi Fly Ash 0% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	65
Grafik 4. 3. VMA untuk Komposisi Fly Ash 0% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%.....	66
Grafik 4. 4. VFB untuk Komposisi Fly Ash 0% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%.....	67
Grafik 4. 5. Stabilitas untuk Komposisi Fly Ash 0% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	68
Grafik 4. 6. Flow untuk Komposisi Fly Ash 0% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%.....	69
Grafik 4. 7. Marshall Quotient untuk Komposisi Fly Ash 0% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%.....	70
Grafik 4. 8. VIM Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	73
Grafik 4. 9. VMA untuk Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%.....	74
Grafik 4. 10. VFB untuk Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%.....	75
Grafik 4. 11. Stabilitas untuk Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	76
Grafik 4. 12. Flow untuk Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	77
Grafik 4. 13. Marshall Quotient untuk Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%.....	78
Grafik 4. 14. VIM Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	81
Grafik 4. 15. VMA untuk Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	82
Grafik 4. 16. VFB untuk Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%.....	83
Grafik 4. 17. Stabilitas untuk Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	84
Grafik 4. 18. Flow untuk Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	85
Grafik 4. 19. Marshall Quotient untuk Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%.....	86
Grafik 4. 20. VIM Komposisi Fly Ash 5% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	89
Grafik 4. 21. VMA untuk Komposisi Fly Ash 5% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	90

Grafik 4. 22. VFB untuk Komposisi Fly Ash 5% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%.....	91
Grafik 4. 23. Stabilitas untuk Komposisi Fly Ash 5% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	92
Grafik 4. 24. Flow untuk Komposisi Fly Ash 5% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	93
4.2.10. Grafik 4. 25. Pengujian Gradasi <i>Aggregate Hot Bin II</i>	94
Grafik 4. 26. Rekapitulasi Nilai VMA	99
Grafik 4. 27. Rekapitulasi Nilai VIM.....	100
Grafik 4. 28. Rekapitulasi Nilai VFB.....	101
Grafik 4. 29. Rekapitulasi Nilai Stabilitas	101
Grafik 4. 30. Rekapitulasi Nilai Flow	102
Grafik 4. 31. Rekapitulasi Nilai MQ.....	103



ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN *FLY ASH* DAN ABU SEKAM PADI PADA ASPAL BETON (AC-WC) TERHADAP STABILITAS DAN DURABILITAS

Abstrak

Dalam konstruksi jalan, lapisan permukaan umumnya menggunakan campuran AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*). Namun, seiring waktu, peningkatan volume lalu lintas dan kondisi lingkungan yang semakin buruk dapat mempengaruhi kinerja lapisan ini. Untuk mengatasi hal tersebut, bahan tambahan seperti *Fly Ash* dan Abu Sekam Padi mulai digunakan dalam campuran AC-WC. Penambahan bahan-bahan ini diharapkan dapat meningkatkan performa campuran dan memenuhi parameter *Marshall*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan *Fly Ash* dan Abu Sekam Padi terhadap karakteristik campuran AC-WC. Metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan pembuatan benda uji dan pengujian *Marshall*. Benda uji dibuat dengan variasi kadar *Fly Ash* sebesar 0%, 1%, 3%, dan 5%, serta Abu Sekam Padi sebesar 0%, 2%, 4%, dan 6%. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai komposisi optimal bahan tambahan untuk meningkatkan kinerja campuran AC-WC.

Job Mix Design terbaik dari bahan tambah *Fly Ash* dan Abu Sekam ialah kombinasi *Fly Ash* 0% dan Abu Sekam 6% (SFOA6) dengan hasil; (VMA 25,21); (VIM 3,65); (VFB 85,82); (Stabilitas 1056,96); (Flow 6,30); (*Marshall Quotient* 195,82) yang berpengaruh juga pada sifat campuran AC-WC dari hasil nilai stabilitas *Marshall*.

Kata Kunci: AC-WC; *Marshall*; *Fly Ash*; Abu Sekam

ANALYSIS OF THE EFFECT OF USING FLY ASH AND RICE HUSK ASH IN ASPHALT CONCRETE (AC-WC) ON STABILITY AND DURABILITY

Abstract

In road construction, the surface layer typically uses an AC-WC (Asphalt Concrete – Wearing Course) mix. Over time, however, the increasing traffic volume and deteriorating environmental conditions can compromise the performance of this layer. To address these challenges, supplementary materials such as fly ash and rice husk ash have been incorporated into the AC-WC mixture. The addition of these materials is expected to enhance the mix's performance and help it meet Marshall parameters.

This study aims to evaluate the effects of adding fly ash and rice husk ash on the properties of the AC-WC mixture. The method employed is a laboratory experiment involving the preparation of specimens and carrying out Marshall tests. The specimens were produced with varying contents of fly ash at 0%, 1%, 3%, and 5%, as well as rice husk ash at 0%, 2%, 4%, and 6%. The results of this study are expected to provide insights into the optimal composition of supplementary materials for enhancing the performance of the AC-WC mixture.

The optimal Job Mix Design with the addition of fly ash and rice husk ash is the combination of 0% fly ash and 6% rice husk ash (denoted as SFOA6), which yields the following results: VMA 25.21%, VIM 3.65%, VFB 85.82%, Marshall Stability 1056.96 kg, Flow 6.30 mm, and Marshall Quotient 195.82 kg/mm. These enhanced results also positively influence the performance characteristics of the AC-WC mixture, particularly as indicated by the Marshall stability value.

Keywords: AC-WC; Marshall; Fly Ash; Rice Husk

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Infrastruktur jalan adalah sebuah elemen krusial dalam mendukung mobilitas masyarakat dan distribusi barang, serta menjadi indikator utama dalam pembangunan ekonomi suatu daerah. Lapisan permukaan ini memiliki fungsi sebagai lapisan paling atas yang langsung bersentuhan dengan lalu lintas kendaraan, sehingga harus memiliki karakteristik mekanik yang unggul, seperti stabilitas tinggi, ketahanan terhadap deformasi (rutting), serta durabilitas yang baik terhadap pengaruh lingkungan seperti kelembaban, suhu ekstrem, dan oksidasi (Studi Teknik Sipil dkk., t.t.).

Dalam prakteknya, penggunaan aspal konvensional dalam campuran AC-WC sering kali menghadapi tantangan terkait ketahanan terhadap kerusakan akibat lingkungan dan beban lalu lintas yang tinggi. Salah satu masalah yang umum ditemui adalah kerusakan jalan akibat deformasi, penurunan kualitas lapisan permukaan yang diakibatkan oleh beban lalu lintas, serta pengaruh cuaca ekstrem dan kelembaban yang menyebabkan retak atau pengikisan lapisan permukaan. Untuk itu, diperlukan inovasi dalam pengembangan material perkerasan jalan yang lebih tahan lama serta ramah lingkungan.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan, baik dalam isi maupun dalam tata penyusunannya. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca secara luas, tidak terbatas hanya bagi penulis sendiri (JERANJANG & HIDAYATULLOH, t.t.). Ketika ditambahkan dalam campuran aspal, fly ash dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida dalam campuran untuk membentuk senyawa-senyawa yang meningkatkan kekuatan dan ketahanan campuran aspal (Hajar dkk., 2025). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan fly ash sebagai filler pada campuran Asphalt Concrete dapat meningkatkan stabilitas Marshall dan ketahanan terhadap deformasi, serta mengurangi permeabilitas dan meningkatkan durabilitas campuran aspal.

Fly ash juga berfungsi sebagai filler yang mengisi rongga antar agregat, yang berguna meningkatkan kerapatan campuran, dan mengurangi permeabilitas (Yanti

dkk., 2017). Hal ini tidak hanya memperbaiki durabilitas, tetapi juga meningkatkan stabilitas dan ketahanan terhadap kerusakan yang disebabkan oleh suhu ekstrem, kelembaban, serta beban lalu lintas yang tinggi. Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa penambahan fly ash dalam campuran AC-WC dapat meningkatkan nilai stabilitas Marshall (Hajar dkk., 2025), mengurangi kebutuhan aspal, dan meningkatkan ketahanan terhadap kerusakan akibat faktor lingkungan seperti oksidasi dan kelembaban.

Namun, penggunaan fly ash sebagai bahan modifikasi dalam campuran AC-WC masih perlu diteliti lebih lanjut, terutama dalam hal pengaruhnya terhadap stabilitas dan durabilitas campuran aspal dalam jangka panjang. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh penambahan fly ash dalam campuran aspal AC-WC, dengan fokus pada uji stabilitas Marshall dan uji durabilitas untuk mengetahui potensi fly ash dalam meningkatkan kualitas dan ketahanan perkerasan jalan.

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan sumbangan yang berarti bagi pengembangan material jalan yang lebih awet, ramah lingkungan, dan dapat memenuhi kebutuhan pembangunan infrastruktur jalan yang terus berkembang.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, beberapa permasalahan yang menjadi fokus pembahasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana Durabilitas Aspal AC-WC yang di campur dengan *fly ash*?
2. Berapa nilai hasil uji Marshall terhadap Stabilitas pada Aspal AC-WC yang dicampur dengan *fly ash*

1.3 Tujuan penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisa Durabilitas dan Stabilitas Aspal AC-WC dengan campuran *fly ash* untuk perkerasan jalan
2. Mengetahui pengaruh campuran bahan *fly ash* terhadap aspal AC-WC
3. Menentukan nilai *Marshall* untuk mengetahui Durabilitas dan Stabilitas pada aspal AC-WC yang dicampur *fly ash*

1.4 Batasan Masalah

Mempertimbangkan terbatasnya waktu maupun kemampuan terhadap ruang lingkup permasalahan yang begitu luas, maka diperlukan pembatasan masalah agar lebih dalam melakukan penelitian yaitu sebagaimana berikut :

1. Penelitian ini terbatas pada penggunaan jenis aspal AC-WC sebagai objek penguji
2. Jenis *fly ash* yang digunakan yaitu tipe F.
3. Penelitian ini dilakukan di laboratorium yang mencakup pengukuran berat Jenis, Agregat, analisa saringan , uji *Marshall*.
4. Analisa tidak mencakup pengaruh *fly ash* terhadap aspek ekonomi dan lingkungan

1.5 Manfaat penelitian

Manfaat yang didapat daripada penelitian ini yaitu:

1. Mendukung upaya pemanfaatan limbah industri (*fly ash*) sebagai material alternatif dalam konstruksi jalan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.
2. Memahami seberapa signifikan dampak yang terjadi setelah penambahan *fly ash* terhadap karakteristik Aspal AC-WC yang sedang diteliti.
3. Bisa digunakan sebagai referensi atau bahan evaluasi bagi para pihak yang hendak melaksanakan studi lebih lanjut tentang perkerasan jalan melalui penambahan *fly ash* pada Aspal AC-WC.

1.6 Keaslian Kajian

Tulisan dalam tugas akhir ini merupakan hasil karya asli penulis. Bagian yang memuat referensi dan sumber berisi dalam bentuk teks dan referensi esai.

1.7 Sistematika Penulisan

Struktur penyusunan dalam Tugas Akhir ini disajikan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memaparkan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat yang diharapkan, keaslian kajian, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas aspek legalitas dan teknis yang terkait dengan analisis penelitian, serta pengembangan berkelanjutan dari teori-teori yang dijadikan landasan untuk mengatasi permasalahan yang timbul selama proses penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode pelaksanaan penelitian, mencakup tahapan penelitian, lokasi, bahan yang digunakan, peralatan survei, waktu pelaksanaan, serta prosedur dan proses pengumpulan data di lapangan.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini memaparkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan secara aktual.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan dari hasil dan membuat beberapa rekomendasi yang dapat diterapkan untuk mendukung penelitian.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Klasifikasi Jalan

Jalan adalah sarana transportasi darat yang memegang peranan vital dalam menunjang mobilitas manusia dan barang. Jalan telah digunakan dari dulu oleh manusia untuk beraktifitas, seperti berjalan dan transportasi kendaraan guna melakukan perpindahan dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Dengan memahami klasifikasi jalan, perencanaan pengembangan jaringan jalan akan sehingga lebih terstruktur dan selaras dengan kebutuhan masyarakat. Untuk mendukung perencanaan, pembangunan, dan pemeliharaan jalan, diperlukan sistem klasifikasi yang jelas. Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 03/PRT/M/2012 tentang Pedoman Teknis Jalan, klasifikasi jalan berdasarkan fungsinya dibagi menjadi:

2.1.1 Jalan Arteri

Jalan arteri berperan sebagai jalur yang melayani perjalanan utama dengan tingkat mobilitas tinggi serta jarak tempuh yang relatif jauh. Jalan ini menghubungkan pusat-pusat kegiatan nasional, seperti ibu kota provinsi, pusat industri, dan pelabuhan besar. Jalan arteri memiliki pengendalian akses yang ketat untuk menjaga kelancaran arus lalu lintas. Jalan arteri umumnya dirancang dengan sedikit hambatan samping, sedikit persimpangan sebidang, serta jalur terpisah untuk arah lalu lintas yang berbeda. Keberadaan jalan arteri sangat penting dalam menunjang konektivitas nasional dan pertumbuhan ekonomi melalui pengangkutan barang dan jasa secara cepat dan efisien.

2.1.2 Jalan Kolektor

Jalan kolektor berperan menghubungkan jalan lokal atau lingkungan dengan jalan arteri. Fungsinya adalah mengumpulkan serta menyalurkan arus lalu lintas dari dan menuju jalan arteri, dengan tingkat pelayanan menengah dan pengendalian tertentu. Secara umum, lebar jalan kolektor lebih sempit dibandingkan jalan arteri, tetapi lebih lebar daripada jalan lokal.

2.1.3 Jalan Lokal

Jalan lokal melayani pergerakan lalu lintas dalam jarak dekat, biasanya di dalam kawasan permukiman atau daerah perdagangan. Jalan lokal memiliki karakteristik perjalanan lambat, banyak persimpangan, dan akses langsung ke properti-properti di sekitarnya. Ciri khas jalan lokal adalah prioritas utama diberikan kepada aksesibilitas dibandingkan mobilitas. Oleh karena itu, desain jalan lokal memperhatikan kebutuhan pedestrian, parkir kendaraan, serta keamanan lalu lintas, terutama di kawasan permukiman padat.

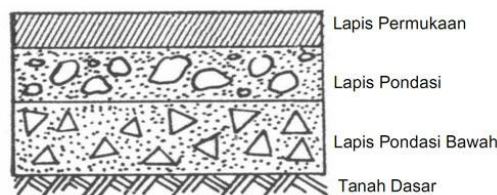
2.1.4 Jalan Lingkungan

Jalan lingkungan merupakan jalan yang terutama melayani lalu lintas internal dalam kawasan tertentu seperti lingkungan perumahan, kawasan industri, atau area komersial kecil. Fungsi utama jalan ini adalah memberikan akses ke unit-unit kegiatan sosial-ekonomi di lingkungan tersebut, dengan kecepatan rendah dan volume lalu lintas yang relatif kecil.

2.2 Jenis Perkerasan Jalan

2.2.1 Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Menurut (Lestari & Istri, 2013) Perkerasan lentur merupakan jenis struktur perkerasan yang paling umum digunakan dibandingkan perkerasan kaku. Konstruksi ini diterapkan baik pada pembangunan jalan maupun landasan pacu. Umumnya, perkerasan lentur menggunakan campuran beraspal sebagai lapisan permukaan dan material berbutir sebagai (Kamil & RISDIANTO, t.t.) lapisan di bawah. salah satu jenis perkerasan lentur adalah *Asphalt Concrete (AC)*, yaitu campuran aspal dengan agregat kasar, agregat halus, serta filler. Pada umumnya, agregat kasar digunakan dalam pembuatan *asphalt concrete*.



Gambar 2. 1 Lapisan Perkerasan Lentur

2.2.2 Perkerasan Kaku

Selain perkerasan lentur, terdapat pula perkerasan kaku yang umum digunakan. Perkerasan kaku merupakan jenis konstruksi yang memakai campuran beton semen portland sebagai lapisan utama yang berfungsi untuk meyalurkan beban kendaraan ke bagian tanah dasar. Perkerasan kaku memiliki nilai modulus elastisitas yang besar, sehingga mampu mendistribusikan beban ke area yang lebih luas (Urfan, 2020). Karakteristik perkerasan kaku adalah ketahanannya lebih tinggi dan umur yang relatif panjang dibandingkan perkerasan lentur. Namun dengan dengan keunggulan tersebut perkerasan kaku memiliki biaya konstruksi awal yang cenderung lebih tinggi dan memerlukan waktu pengerasan yang lebih lama.

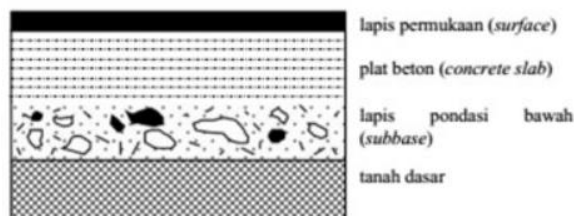


Gambar 2. 2 Lapisan Perkerasan Kaku

2.2.3

Perkerasan Komposit

Perkerasan komposit adalah struktur perkerasan jalan yang menggabungkan antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku untuk memperoleh keunggulan dari keduanya (Nur dkk., 2021). Perkerasan ini biasanya terdiri dari lapisan beton semen portland pada bagian bawah dan lapisan aspal pada bagian atas.



Gambar 2. 3 Lapisan Perkerasan Komposit

2.3 Struktur Perkerasan Jalan Lentur

Struktur perkerasan jalan lentur tersusun atas beberapa lapisan, di mana setiap lapisan memiliki fungsinya masing-masing spesifik dalam menyalurkan beban kendaraan dari permukaan jalan ke lapisan tanah dasar. Setiap lapisan dalam struktur ini dirancang untuk bekerja sama dalam mendistribusikan beban agar deformasi yang terjadi pada tanah dasar dapat diminimalkan.

Menurut *Manual Desain Perkerasan Jalan* (Departemen Pekerjaan Umum, 2017), struktur perkerasan lentur umumnya terdiri dari empat lapisan utama, yaitu:

2.3.1 Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan permukaan adalah bagian teratas yang langsung bersentuhan dengan lalu lintas kendaraan. Material yang digunakan biasanya berupa aspal panas (*hot mix*). Lapisan ini berfungsi untuk memberikan kenyamanan berkendara, ketahanan terhadap air, sekaligus berfungsi melindungi lapisan di bawahnya dari tekanan beban dan dampak lingkungan. Kualitas dan ketebalan lapisan permukaan sangat menentukan umur layanan perkerasan.

2.3.2 Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapisan pondasi atas berfungsi untuk meneruskan beban dari lapisan permukaan ke lapisan pondasi bawah atau langsung menuju tanah dasar (Akbar dkk., 2015). Material base course biasanya menggunakan agregat bergradasi baik, seperti batu pecah atau campuran agregat stabilisasi aspal. Lapisan ini harus memiliki kekuatan tinggi, kestabilan bentuk, serta tahan terhadap perubahan volume akibat kelembaban. Ketahanan base course terhadap deformasi sangat penting untuk menjaga bentuk permukaan jalan.

2.3.3 Lapisan Pondasi Bawah (*subbase Course*)

Lapisan pondasi bawah merupakan lapisan di bawah base course yang berfungsi mendukung struktur di atasnya serta memperbaiki kondisi tanah dasar. Material subbase biasanya terdiri dari agregat granular berkualitas sedang atau campuran tanah stabilisasi. Subbase membantu meningkatkan drainase, mengurangi tegangan pada tanah dasar, serta melindungi subgrade dari efek perubahan kelembaban yang ekstrem. Pada kondisi tertentu, lapisan subbase dapat dihilangkan apabila tanah dasar telah memiliki daya dukung yang memadai.

2.3.4 Lapisan Tanah Dasar (*subgrade*)

Tanah dasar adalah lapisan paling bawah dari struktur perkerasan yang menjadi tumpuan utama semua beban kendaraan. Kualitas dan kekuatan tanah dasar sangat mempengaruhi desain ketebalan seluruh perkerasan. Tanah dasar harus memiliki daya dukung yang memadai dan stabil terhadap perubahan iklim. Jika tanah asli tidak cukup kuat, maka perlu dilakukan perbaikan atau stabilisasi menggunakan material tambahan seperti semen, kapur, atau bahan kimia lainnya untuk memperkuat lapisan ini.

2.4 Aspal, Agregat, dan Bahan Pengisi

2.4.1 Definisi Aspal

Aspal merupakan cairan kental berwarna hitam dengan sifat lengket, yang berfungsi sebagai pengikat agregat sekaligus bahan pengisi, dan sering digunakan dalam pembangunan serta pemeliharaan jalan (*Teknik Sipil_30202100056_fullpdf*, t.t.). Aspal biasanya dibuat dari agregat, yang terdiri dari batu hancur, pasir, dan kerikil (terak), bersama dengan bahan pengikat seperti semen. Aspal yang berasal dari alam harus dipanaskan terlebih dahulu agar menjadi cairan yang kental sebelum membuat jalan menjadi halus dan nyaman dilewati. Hal ini memudahkan proses penerapan aspal. Untuk menjamin keberhasilan pengerjaan, dapat digunakan berbagai jenis campuran aspal yang disesuaikan dengan kebutuhan, seperti volume lalu lintas, jumlah kendaraan berat, suhu, kondisi cuaca, serta tuntutan pengurangan kebisingan. Campuran aspal yang dipilih harus memiliki kekuatan, kekakuan, dan ketahanan terhadap deformasi yang memadai agar mampu menahan beban roda kendaraan (Seminar Nasional Keinsinyuran (SNIP), t.t.). Berikut campuran aspal yang bisa diproduksi pada suhu yang berbeda:

1. Campuran Aspal Panas / *Hot Mix Asphalt* (HMA)

Campuran ini biasanya diproduksi pada suhu antara 150°C sampai dengan 180°C.

2. Campuran Aspal Hangat / *Warm Mix Asphalt* (WMA)

Campuran ini biasanya diproduksi pada suhu antara 20°C sampai dengan 40°C yang dimana suhu tersebut lebih rendah dari HMA.

3. Campuran Aspal Dingin / *Cold Mix Asphalt*

Campuran ini biasanya diproduksi pada suhu yang optimal antara 70°C sampai dengan 90°C yang dimana suhu tersebut menghasilkan campuran aspal setengah hangat.

2.4.2 Jenis-Jenis Lapisan Aspal

Suatu jenis bahan konstruksi yang dikenal sebagai bahan campuran aspal yang terdiri atas aspal, bahan pengisi, agregat kasar, serta agregat halus yang biasa disebut dengan lapis aspal beton. Berikut ini adalah jenis-jenis lapis aspal beton, yaitu:

1. *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC)

Lapisan teratas dari struktur perkerasan yang bersentuhan langsung dengan roda kendaraan disebut laston atau *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC). Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, lapisan ini memiliki ketebalan minimum 4 cm dan dirancang agar mampu menyesuaikan diri terhadap perubahan cuaca, gaya geser, serta tekanan ban kendaraan, sekaligus memberikan perlindungan terhadap lapisan di bawahnya dari kontaminasi air. Menurut (Bethary & Intari, 2022) kadar aspal lebih banyak dari lapisan *binder* dan lapisan *base*. Komposisi ini menggunakan ukuran agregat maksimum 3/8 – 3/4 in.

2. *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC)

Lapisan ini berada di antara lapisan aus (AC-WC) dan lapisan pondasi (*Concrete-Base*) yang berfungsi sebagai pengikat antara lapisan atas dan bawah. Lapisan ini biasa disebut dengan lapisan antara. Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, lapisan ini memiliki ketebalan minimal 6 cm dan dibuat untuk mendistribusikan beban dari lapisan atas ke lapisan bawah serta menyediakan kekuatan tambahan dan stabilitas pada struktur perkerasan. Komposisi lapisan ini menggunakan agregat kasar dan halus dengan proporsi yang lebih besar maksimum agregat 3/4 - 1,5 in. dibandingkan dengan lapisan aus, filler untuk meningkatkan kepadatan campuran, dan aspal sebagai bahan pengikat.

3. *Asphalt Concrete-Base*

Lapisan ini biasa disebut dengan lapisan pondasi atas terletak paling bawah setelah lapisan antara yang berfungsi sebagai pondasi perkerasan jalan yaitu untuk memberi dukungan struktural yang kuat untuk seluruh perkerasan dan mencegah

deformasi serta memberikan stabilitas jangka panjang pada jalan. Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, ketebalan lapisan ini ditetapkan paling sedikit 7,5 cm. Komposisi ini menggunakan agregat kasar dengan ukuran lebih besar, biasanya lebih dari 25 mm, dan aspal sebagai bahan pengikat, terkadang campuran aspal lebih sedikit dibandingkan dengan lapisan lainnya.

Tabel 2. 1 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC)

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112 ⁽³⁾
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6		
	Maks	1,6		
Rongga dalam campuran (%) ⁽⁴⁾	Min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800		1800 ⁽³⁾
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6 ⁽³⁾
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 C ⁽⁵⁾	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal) ⁽⁶⁾	Min	2		

Sumber: Spesifikasi Umum 2018 Bina Marga Revisi 2

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

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112 ⁽³⁾
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6		
	Maks	1,6		
Rongga dalam campuran (%) ⁽⁴⁾	Min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	1000		2250 ⁽³⁾
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6 ⁽³⁾
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 C ⁽⁵⁾	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal) ⁽⁶⁾	Min	2		
Stabilitas Dinamis, lintasan/mm ⁽⁷⁾	Min	2500		

Sumber: Spesifikasi Umum 2018 Bina Marga Revisi 2

Tabel 2. 3 Tebal Nominal Minimum Campuran Beraspal

Jenis Campuran		Simbol ⁽¹⁾	Tebal Nominal Minimum (cm)
<i>Stone Matrix Asphalt</i> Tipis		SMA Tipis	3,0
<i>Stone Matrix Asphalt</i> - Halus		SMA-Halus	4,0
<i>Stone Matrix Asphalt</i> - Kasar		SMA-Kasar	5,0
Lataston	Lapis Aus	HRS-WC	3,0
	Lapis Fondasi	HRS-Base	3,5
Laston	Lapis Aus	AC-WC	4,0
	Lapis Antara	AC-BC	6,0
	Lapis Fondasi	AC-Base	7,5

Sumber: Spesifikasi Umum 2018 Bina Marga Revisi 2

2.4.3 Jenis-Jenis Agregat

Agregat adalah salah satu material konstruksi yang digunakan sebagai komposisi campuran aspal untuk memberikan perkuatan pada aspal. Berikut adalah jenis-jenis agregat:

1. Agregat Kasar (*coarse aggregate*) adalah partikel yang berukuran besar, biasanya berdiameter lebih dari 4,75 mm dan memiliki ketentuan yang telah ditetapkan. Contohnya: kerikil dan batu pecah.

Tabel 2. 4 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian			Metoda Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan		natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks.12 %
		magnesium sulfat		Maks.18 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 6%
		500 putaran		Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran		Maks. 8%
		500 putaran		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal			SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar		SMA	SNI 7619:2012	100/90 *)
		Lainnya		95/90 **)
Partikel Pipih dan Lonjong		SMA	SNI 8287: 2016 Perbandingan 1 : 5	Maks. 5%
		Lainnya		Maks. 10%
Material lolos Ayakan No.200			SNI ASTM C117: 2012	Maks. 1%

Sumber: Spesifikasi Umum 2018 Bina Marga Revisi 2

2. Agregat Halus (*fine aggregate*) biasanya lebih kecil dari 4,75 mm. Contohnya : pasir dan serbuk batu. Agregat halus memiliki ketentuan yang telah ditetapkan.

Tabel 2. 5 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji kadar rongga tanpa pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Agregat lolos ayakan No. 200	SNI ASTM C 117: 2012	Maks. 10%

Sumber: Spesifikasi Umum 2018 Bina Marga Revisi 2

3. Agregat Mineral yaitu agregat yang berasal dari batuan dan memiliki sifat fisik dan mekanik yang unggul. Contohnya: batu granit dan batu andesit.
4. Agregat Sintetis yaitu agregat yang dihasilkan dari proses industri. Contohnya: agregat daur ulang dan serbuk besi.
5. Agregat Spesifik, dari beberapa agregat bisa ditambahkan untuk meningkatkan sifat tertentu dari campuran aspal. Contohnya agregat berpori (untuk meningkatkan drainase) dan agregat berwarna (untuk estetika).
6. Agregat Buatan (*artificial aggregate*), agregat yang dihasilkan dari proses industri. Contohnya: Agregat clay (dari tanah liat yang dipanaskan dan membentuk butiran) dan agregat terak (sisa pembakaran batu bara atau logam).

Tabel 2. 6 Gradasi Agregat untuk Menentukan KAO

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix Asphalt (SMA)			Laston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1½"	37,5								100
1"	25			100				100	90 - 100
¾"	19		100	90 - 100	100	100	100	90 - 100	76 - 90
½"	12,5	100	90 - 100	50 - 88	90 - 100	90 - 100	90 - 100	75 - 90	60 - 78
⅜"	9,5	70 - 95	50 - 80	25 - 60	75 - 85	65 - 90	77 - 90	66 - 82	52 - 71
No.4	4,75	30 - 50	20 - 35	20 - 28			53 - 69	46 - 64	35 - 54
No.8	2,36	20 - 30	16 - 24	16 - 24	50 - 72	35 - 55	33 - 53	30 - 49	23 - 41
No.16	1,18	14 - 21					21 - 40	18 - 38	13 - 30
No.30	0,600	12 - 18			35 - 60	15 - 35	14 - 30	12 - 28	10 - 22
No.50	0,300	10 - 15					9 - 22	7 - 20	6 - 15
No.100	0,150						6 - 15	5 - 13	4 - 10
No.200	0,075	8 - 12	8 - 11	8 - 11	6 - 10	2 - 9	4 - 9	4 - 8	3 - 7

Sumber: Spesifikasi Umum 2018 Bina Marga Revisi 2

2.4.4 Bahan Pengisi (*filler*)

Bahan pengisi adalah partikel yang berukuran sangat halus dan berfungsi untuk mengisi kekosongan antara butiran halus dan butiran kasar. Semen portland biasanya digunakan sebagai pengisi. Berdasarkan pengujian menggunakan metode pengayakan sesuai SNI ASTM C13:2012, material ini harus mengandung butiran yang lolos ayakan No. 200 (75 mikron) dengan persentase minimal 75% dari berat totalnya.

2.5 Sifat Bahan Tambah Pada Aspal

2.5.1 Karakteristik *Fly Ash*

Fly ash merupakan abu berbutir halus yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Material ini umumnya berbentuk partikel sangat halus, berwarna abu-abu hingga kehitaman, dan tergolong sebagai bahan pozzolan. Dalam bidang teknik sipil, fly ash kerap dimanfaatkan sebagai bahan tambahan (*additive*) pada campuran beton maupun aspal, karena memiliki kemampuan untuk bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) dan membentuk senyawa semen (C-S-H) yang bisa meningkatkan kekuatan dan daya tahan beton atau aspal (Yunus, 2010). Karakteristik utama fly ash meliputi:

1. Komposisi kimia: Terdiri dari silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3), serta kalsium oksida (CaO). Kandungan ini membuat fly ash bersifat *pozzolan aktif*, terutama jika kandungan silikanya tinggi.
2. Ukuran Partikel: Sangat halus (sekitar 0,5 – 300 mikron), sehingga bisa mengisi pori-pori mikro dalam campuran beton atau aspal dan meningkatkan kerapatan serta mengurangi porositas.
3. Berat Jenis: Sekitar 2.1 – 2.6 g/cm³, tergantung dari sumber dan jenis batu bara yang dibakar.
4. Warna: Abu-abu muda sampai kehitaman, tergantung pada kandungan karbon tak terbakar.
5. Reaktivitas Pozzolan: Mampu meningkatkan kekuatan jangka panjang, ketahanan terhadap sulfat, dan mengurangi reaksi alkali-agregat jika digunakan dalam campuran beton atau campuran aspal modifikasi.

Fly ash juga dikenal sebagai bahan yang dapat meningkatkan durabilitas campuran, mengurangi retak dini, dan membuat campuran lebih stabil terhadap perubahan suhu atau cuaca, khususnya saat diaplikasikan pada campuran aspal beton tipe AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*).

2.5.2 Manfaat Penggunaan *Fly Ash*

Penggunaan *fly ash* dalam campuran aspal juga berdampak pada peningkatan durabilitas atau ketahanan terhadap air dan perubahan suhu. *Fly ash* dapat menurunkan nilai voids yang berlebihan dalam campuran, sehingga mencegah air masuk dan merusak ikatan antara aspal dan agregat (Wibawa, 2011). Dengan kata lain, campuran menjadi lebih tahan terhadap kerusakan akibat cuaca ekstrem dan genangan air. Di sisi lain, penggunaan *fly ash* juga dinilai lebih ekonomis karena berasal dari limbah industri yang ketersediaannya melimpah dan biayanya rendah (Kunusa dkk., 2025). Ini menjadikannya sebagai alternatif filler yang lebih murah dibandingkan semen atau abu batu, tanpa mengorbankan kualitas hasil campuran. *Fly ash* kerap dimanfaatkan sebagai material pengisi (*filler*) pada campuran beton dan aspal, termasuk dalam struktur lapis aspal beton seperti AC-WC. Berikut beberapa manfaat penggunaan *fly ash*:

1. Meningkatkan Stabilitas Campuran

Penambahan *fly ash* pada campuran aspal dapat meningkatkan stabilitas Marshall, karena partikel halusnya mampu mengisi celah antar agregat sehingga menghasilkan campuran yang lebih padat dan kuat.

2. Meningkatkan Durabilitas (Ketahanan terhadap Air dan Cuaca)

Fly ash mampu memperkecil pori-pori dalam campuran, sehingga mengurangi daya serap air. Ini sangat penting dalam menjaga kualitas jalan dari kerusakan akibat rendaman air atau perubahan suhu.

3. Mengurangi Biaya Produksi

Karena *fly ash* merupakan limbah industri, penggunaannya sebagai bahan pengganti filler konvensional seperti semen atau abu batu dapat menurunkan biaya produksi perkerasan.

4. Memanfaatkan Limbah dan Mendukung Pembangunan Berkelanjutan

Dengan memanfaatkan *fly ash*, kita membantu mengurangi volume limbah

yang berpotensi mencemari lingkungan. Hal ini sejalan dengan prinsip konstruksi berkelanjutan (*sustainable construction*).

5. Meningkatkan Kekakuan Campuran (Marshall Quotient)

Marshall Quotient merupakan rasio antara stabilitas dan flow. Penambahan fly ash berkontribusi pada peningkatan nilai MQ, yang menunjukkan bahwa campuran tidak hanya memiliki kekuatan, tetapi juga kekakuan dan kestabilan terhadap deformasi.

2.5.3 Karakteristik Abu Sekam

Abu sekam padi (ASP) merupakan material yang dihasilkan dari proses pembakaran sekam padi yang kaya akan senyawa pozzolan seperti silika (SiO_2), kalium, kalsium, dan magnesium dengan kandungan silika mencapai sekitar 80–98% setelah pembakaran sempurna. Transformasi sekam menjadi abu pozzolanik ini menjadikannya bahan pengisi alternatif yang potensial dalam campuran aspal jalan.

Ketika digunakan sebagai filler dalam perkerasan lentur seperti AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course), ASP menambah stabilitas Marshall dan memengaruhi karakteristik volumetrik campuran. Contohnya, penambahan ASP pada kadar tertentu bisa meningkatkan stabilitas dan kepadatan aspal, meskipun nilai flow (kelelehan aspal) bisa menurun. Dengan kata lain, Abu Sekam Padi mampu meningkatkan performa teknis perkerasan jalan secara efektif dan sekaligus memiliki sifat lebih ramah lingkungan dan ekonomis karena bersumber dari limbah pertanian dan mengurangi kebutuhan bahan pengisi konvensional.

Karakteristik Abu Sekam meliputi :

1. Peningkatan Stabilitas Campuran Aspal

Penambahan abu sekam padi (ASP) sebagai filler dalam campuran aspal, seperti AC-WC, dapat meningkatkan stabilitas Marshall pada campuran tersebut. Misalnya, dengan penambahan 3% ASP, nilai stabilitas mencapai 835,62 kg, melebihi spesifikasi minimum Bina Marga sebesar 800 kg (PEMANFAATAN LIMBAH JERAMI PADI SEBAGAI SUBSTITUSI FILLER PADA CAMPURAN ASPAL MENGGUNAKAN SPESIFIKASI BINA MARGA AC-WC(Asphalt Concrete-Wearing Course), t.t.).

2. Pengaruh terhadap Karakteristik Marshall

Penambahan ASP dalam campuran aspal dapat mempengaruhi berbagai parameter Marshall, seperti VIM, VMA, VFA, flow, dan Marshall Quotient (MQ). Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan ASP sebagai filler dapat memenuhi spesifikasi teknis yang ditetapkan (Maulana & Kurnia, t.t.).

3. Sifat Pozzolanik dan Komposisi Kimia

Abu sekam padi mengandung kadar silika (SiO_2) yang cukup tinggi, memberikan sifat pozzolanik yang dapat meningkatkan kekuatan dan durabilitas campuran. Sifat ini juga membantu dalam mengurangi porositas dan meningkatkan ketahanan terhadap kelembaban (Dimas dkk., t.t.).

2.5.4 Manfaat Penggunaan Abu Sekam Padi

Abu sekam padi adalah hasil pembakaran sekam padi yang kaya akan silika reaktif (SiO_2) sebuah material pozzolanik yang memiliki potensi besar sebagai pengganti sebagian semen atau filler dalam berbagai aplikasi konstruksi (Raharja & As, t.t.). Sifat halus dan reaktif ini membuat ASP ideal untuk meningkatkan kualitas campuran beton dan aspal.

Di sisi lain, dalam aplikasi perkerasan jalan, abu sekam padi terbukti efektif sebagai bahan filler pada campuran aspal beton (AC-WC dan ATB). Misalnya, penelitian menunjukkan bahwa ASP dapat digunakan sebagai alternatif pasir batu sebagai filler, dengan nilai Kadar Aspal Optimum (OBC) yang sama (sekitar 6%), menandakan bahwa ASP adalah pilihan yang layak dan kompatibel (ANALISA PENGARUH PENGGUNAAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI FILLER DALAM, t.t.).

2.6 Metode Pengujian Marshall

Pengujian *Marshall Test* adalah metode untuk mengukur kekuatan aspal. Bruce Marshall mengembangkan rancangan campuran dengan menggunakan metode Marshall yang telah distandarisasi dalam ASTM D 1559-76 dan AASHTO T-245-90. Metode *marshall test* mematuhi SNI 06-2489-1991, AASHTO T 245-90, atau ASTM D 1559-76. Dalam pengujian *marshall* menggunakan alat tekan

yang biasa disebut *Marshall Stability Test Apparatus* dilengkapi dengan *proving ring* atau biasa disebut dengan cincin penguji. Dalam *marshall test*, cincin penguji digunakan untuk menentukan stabilitas campuran pada aspal dengan kapasitas 22,2 kN yang menunjukkan bahwa cincin tersebut dapat menahan tekanan maksimum sebesar 22,2 kN sekitar 5000 lbs (2,250 kg) sebelum terjadinya deformasi serta flowmeter yang digunakan untuk mengukur tingkat kelelehan plastis.

Deformasi merupakan perubahan bentuk atau kerusakan yang terjadi pada sampel campuran aspal ketika diberi beban. Ketika beban yang diterima melebihi kapasitas maksimum sekitar 22,2 kN (atau 5000 lbs) sampel mulai menunjukkan gejala seperti tertekan, melebar, atau retak. Jika deformasi ini cukup parah, maka campuran aspal tersebut dianggap tidak layak untuk digunakan dalam konstruksi jalan. Sampel yang digunakan dalam pengujian Marshall berbentuk silinder dengan dimensi tinggi 6,35 cm (2,5 inci) dan diameter 10,2 cm (4 inci). Metode ini mengacu pada standar seperti SNI 06-2489-1991, AASHTO T 245-90, dan ASTM D 1559-76. Pengujian Marshall meliputi beberapa tahapan, yaitu pembuatan sampel uji, pengukuran berat jenis bulk, pengujian stabilitas dan flow, serta analisis sifat volumetrik campuran. Selain menggunakan alat utama Marshall Stability Test Apparatus, diperlukan juga peralatan pendukung seperti Water Bath yang berfungsi merendam sampel pada suhu tertentu sebelum pengujian dilakukan.

2.6.1 Formula untuk Menghitung Parameter-parameter *Marshall*

1. Kadar Aspal Optimum (KAO)

untuk mengetahui nilai ideal aspal dan untuk mencari perkiraan pada kadar aspal optimum. KAO dilakukan setelah analisa saringan, dengan rumus:

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

Keterangan:

Pb = Kadar aspal rencana (hasilnya dibulatkan ke 0,5%)

CA = Nilai presentase agregat kasar

FA = Nilai presentase agregat halus

FF = Nilai presentase *filler*

K = Konstanta (kira-kira 0,5-1,0)

2. Berat Jenis dan Penyerapan

$$BJ \text{ kering} = \frac{Bk}{Bj - Ba} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$BJ \text{ kering permukaan jenuh} = \frac{Bj}{Bj - Ba} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$BJ \text{ semu} = \frac{Bk}{Bk - Ba} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

Bk = Berat benda uji kering oven (gr)

Bj = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gr)

Ba = Berat benda uji kering permukaan jenuh dalam air (gr)

3. Berat Jenis Setelah Pemadatan

$$Gmb = \frac{Bk}{Bssd - Ba} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

Gmb = BJ *bulk* campuran setelah pemadatan (gr/cm³)

Bk = Berat kering campuran (gr)

Bssd = Berat kering permukaan dari campuran setelah pemadatan

Ba = Berat campuran di dalam air (gr)

Bssd-Ba = Volume *bulk* campuran yang dipadatkan (jika bj air diasumsikan)

4. Berat Jenis Efektif Agregat

$$Gse = \frac{\frac{Pmm - Pb}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}}{\dots\dots\dots} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

Gse = Berat jenis efektif (gr/cm³)

Gmm = Berat jenis campuran max teoritis setelah pemadatan

Pmm = Berat total campuran (%)

Pb = Kadar aspal rencana (%)

Gb = Berat jenis aspal

5. Berat Jenis Maksimum Campuran

$$Gmm = \frac{Pmm}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pb}{Gb}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Gse = Berat jenis efektif (gr/cm³)

Gmm = Berat jenis campuran max teoritis setelah pemadatan

Pmm = Berat total campuran (%)

Pb = Kadar aspal rencana (%)

Ps = Kadar aspal terhadap total campuran (%)

Gb = Berat jenis aspal

6. Berat Jenis Dari Total Agregat

Berat jenis kering dan berat jenis semu dari total agregat

$$Gsb_{tot\ agregat} = \frac{P_1+P_2+P_3+\dots+P_n}{\frac{P_1}{G_1}+\frac{P_2}{G_2}+\frac{P_3}{G_3}+\dots+\frac{P_n}{G_n}} \dots\dots\dots (2.9)$$

$Gsb_{tot\ agregat}$ = Bj kering agregat gabungan (gr/cm³)

Gsb1, Gsb2, ..., Gsbn = Bj kering dari masing-masing agregat

P1, P2, ..., Pn = Berat dari masing-masing agregat (%)

2.6.2 Parameter Yang Diuji

Metode pengujian *marshall* digunakan untuk mengukur sifat-sifat campuran aspal panas. Karakteristiknya termasuk Kepadatan (*density*), VMA (*Void in Mineral Aggregate*), VFWA (*Void Filled With Asphalt*), VITM (*Void In The Total Mix*), *Marshall Quotient* (MQ), kelelehan (*flow*), dan stabilitas (*stability*).

1. Stabilitas (*stability*)

Stabilitas merujuk pada kapasitas campuran aspal dalam menahan beban vertikal tanpa mengalami kerusakan atau perubahan bentuk. Stabilitas ini diukur dengan cara memberi beban pada sampel aspal yang dipadatkan hingga sampel mulai gagal. Stabilitas yang tinggi menunjukkan bahwa campuran dapat bertahan di bawah lalu lintas kendaraan, sedangkan stabilitas yang rendah dapat menunjukkan potensi kerusakan.

$$S = p \times q \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

S = Angka stabilitas yang sesungguhnya

p = Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

q = Angka koreksi benda uji Kelelehan (*flow*)

2. Kelelehan (*flow*)

Kelelehan adalah ukuran seberapa jauh sampel aspal dapat terdeformasi di bawah beban tertentu. Ini biasanya diukur dalam satuan milimeter. Kelelehan memberikan informasi tentang sifat plastis dan fleksibilitas campuran aspal. Campuran yang memiliki kelelehan yang sesuai dapat menyesuaikan diri dengan perubahan suhu dan beban, yang penting untuk ketahanan jangka panjang. Nilai *flow* didapatkan dari yang ditunjukkan oleh jarum dial dan sudah dalam satuan mm.

3. *Marshall Quotient* (MQ)

Marshal Quotient (MQ) merupakan rasio antara stabilitas dan kelelahan (stability/flow). Nilai MQ memberikan gambaran tentang keseimbangan antara kekuatan dan deformabilitas campuran aspal. MQ yang tinggi menunjukkan campuran yang lebih stabil dengan kapasitas deformasi yang baik, sementara MQ yang rendah bisa menunjukkan risiko kerusakan pada lapisan aspal.

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm)

MS = *Marshall Stability* (kg)

MF = *Flow Marshall* (mm)

4. VITM (*Void In The Mix*)

VITM merupakan persentase ruang kosong dalam campuran aspal yang dihitung berdasarkan volume total campuran. Ini penting untuk mengetahui seberapa baik campuran dapat menahan aspal dan memberikan informasi tentang komposisi campuran. VITM yang terlalu tinggi dapat mengindikasikan bahwa campuran kurang padat, yang dapat mempengaruhi kinerja.

$$VIM = \left(100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) \% \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

VIM = Setelah pemadatan, rongga udara pada campuran diambil dari persentase volume total (%)

G_{mm} = Berat jenis campuran *max* teoritis setelah pemadatan (gr/cm³)

G_{mb} = Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cm³)

5. VFWA (*Void Filled With Asphalt*)

VFWA merupakan persentase ruang kosong dalam campuran yang terisi oleh aspal, menggambarkan efektivitas aspal dalam mengisi celah di antara butiran agregat. Nilai VFWA yang ideal menunjukkan bahwa aspal cukup mengisi void (ruang kosong), sehingga meningkatkan daya tahan dan ketahanan terhadap kerusakan. Persamaan berikut digunakan untuk menghitung nilai VFA:

$$VFA = \left(100 \times \frac{VMA - VIM}{VMA} \right) \% \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan:

VFA = Rongga udara yang berisi aspal, diambil dari persentase VMA (%)

VMA = Rongga udara mineral agregat, diambil dari persentase volume total (%)
 VIM = Setelah pemadatan, rongga udara pada campuran diambil dari persentase volume total (%)

6. VMA (Void in Mineral Aggregate)

VMA adalah total volume void yang tersedia dalam agregat mineral setelah pengisian dengan aspal. Ini mencakup ruang kosong yang tidak terpenuhi dengan aspal. VMA yang tepat sangat penting guna memungkinkan pergerakan air dan material, serta memberikan stabilitas.

Rumus untuk mengetahui berat campuran total:

$$VMA = \left(100 \times \frac{Gmb \times Ps}{Gsb} \right) \% \dots\dots\dots (2.14)$$

$$VMA = \left(100 - \left[\frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{(100 + Pb)} \right] 100 \right) \% \dots\dots\dots (2.15)$$

VMA = Rongga udara mineral agregat, diambil dari persentase volume total (%)

Gmb = Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cm³)

Gsb = Berat jenis *bulk* agregat (gr/cm³)

Ps = Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran (%)

Pb = KAO (%)

7. Kepadatan (*density*)

Kepadatan adalah massa per unit volume dari campuran aspal. Ini diukur untuk menentukan seberapa padat campuran tersebut. Kepadatan yang tinggi menunjukkan bahwa campuran memiliki kompaksi yang baik, yang dapat meningkatkan daya tahan dan ketahanan terhadap kerusakan. Kepadatan juga berpengaruh pada nilai VITM dan VMA.

Parameter-parameter ini saling terkait dan memberikan gambaran menyeluruh tentang kualitas dan performa campuran aspal, terutama ketika menggunakan serbuk besi sebagai tambahan agregat halus. Pemeriksaan terhadap parameter-parameter ini sangat penting guna menjamin bahwa campuran aspal sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan dalam konstruksi jalan.

$$g = \frac{c}{f} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$f = \frac{d-e}{\gamma} \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan:

g = Nilai Density

c = Berat kering sebelum direndam (gr)

d = Berat benda uji jenuh air (gr)

e = Berat benda uji dalam air (gr)

f = Volume benda uji (cc)

γ = Berat jenis air (gr/cc)



2.7 Penelitian Terdahulu

Dalam bidang perkerasan aspal, penelitian sebelumnya berfokuskan kepada inovasi dan teknologi. Namun, penelitian sebelumnya tidak menemukan hasil yang sebanding dengan penelitian kami, sejauh pengetahuan saat ini. Studi sebelumnya mencakup:

Tabel 2. 7 Penelitian Terdahulu

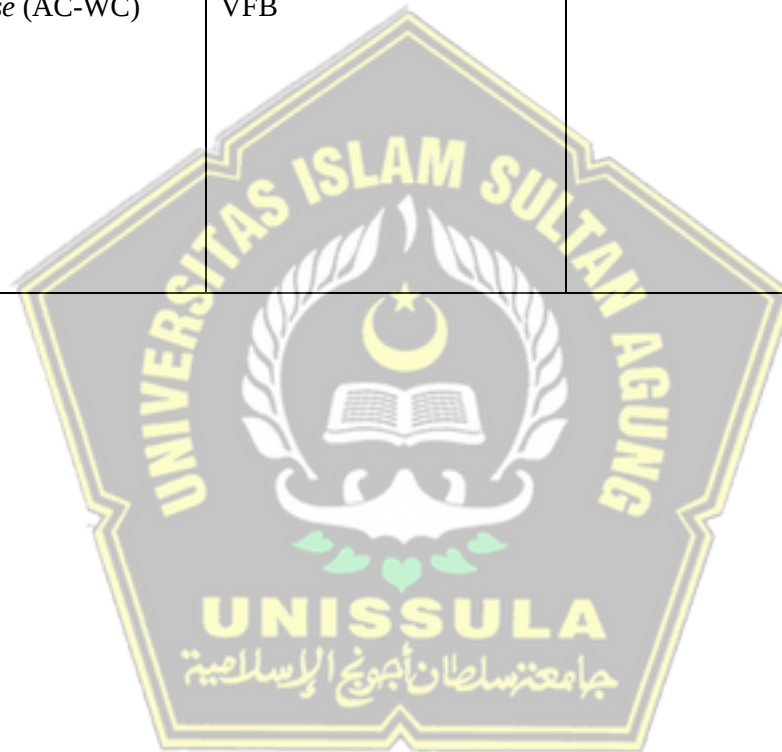
No	Tahun	Penulis	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
1	2024	Krisna Majid Bisri & M Azrul Ifani	Analisis Stabilitas Aspal Beton (AC- WC) Dengan Campuran <i>Fly Ash</i> dan <i>Rubber Waste</i> untuk Perkerasan Jalan	Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan mutu aspal dengan mengombinasikan <i>Asphalt</i> <i>Concrete Wearing Course</i> (AC-WC) bersama <i>fly ash</i> dan limbah karet.	<i>Marshall test</i>	Hasil formula job mix yang memenuhi parameter Marshall, kecuali nilai flow, adalah pada variasi F6R2 (fly ash 6% dan rubber waste 2%) serta F6R1 (fly ash 6% dan rubber waste 1%). Pada variasi F6R2, nilai rongga udara (VIM) mencapai 3,04%, rongga antar agregat (VMA) sebesar 19,86%, rongga terisi aspal (VFB) mencapai 84,78%, stabilitas

						804,99 kg, keelehan (flow) 8,53 mm, dan Marshall Quotient (MQ) sebesar 64,53 kg/mm. Sedangkan pada variasi F6R1, rongga udara (VIM) adalah 4,87%, rongga antar agregat (VMA) 19,03%, rongga terisi aspal (VFB) 74,55%, stabilitas 814,81 kg, keelehan (flow) 10,18 mm, dan Marshall Quotient (MQ) 51,09 kg/mm.
2	2023	F Mubarak, <u>M Solikin</u> , <u>S Sunarjono</u>	Perbandingan Tingkat Kelelahan Fly Ash Terhadap Durabilitas dan Sifat Mekanis <i>High Volume Fine Fly Ash Self Compacting Concrete</i>	Untuk memperoleh fly ash yang halus, dilakukan proses penyaringan fly ash menggunakan saringan air dengan ukuran sekitar $\pm 10 \mu\text{m}$.	<i>Self Compacting Concrete</i> (SCC).	Pengujian X-Ray Fluorescence dilakukan untuk menentukan jenis serta perbandingan kandungan kimiawi antara raw fly ash dan fine fly ash, sekaligus untuk mengevaluasi adanya reaktivitas fly ash dengan air

						selama proses penyaringan menggunakan saringan air
3	2019	H Haris	Analisis Pengujian Stabilitas dan Durabilitas Campuran Aspal dengan Tes Perendaman	Menentukan komposisi campuran AC-WC dengan memanfaatkan bahan alam seperti kapur padam, debu batu, pasir alam, dan agregat dari Sungai Tinigi Tolitoli, guna memperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO).	<i>Marshall Test</i>	Berdasarkan hasil penelitian mengenai pemanfaatan agregat sungai (debu batu dan kapur padam) sebagai filler di Kabupaten Tolitoli, Provinsi Sulawesi Tengah, serta pengaruhnya terhadap stabilitas dan daya tahan campuran aspal panas AC-WC dengan gradasi halus menggunakan aspal Pertamina Pen. 60/70 di Laboratorium Teknik Transportasi Universitas Gadjah Mada, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

4	2021	Ilmil Munawwarah Br. Siagan	Analisis Uji Durabilitas Campuran Aspal AC- WC dengan Variasi Waktu Perendaman dan Menggunakan Filler Abu Cangkang Kelapa Sawit	Penelitian ini bertujuan untuk mengukur nilai durabilitas dan nilai Marshall pada campuran aspal yang menggunakan filler abu cangkang kelapa sawit, dengan variasi waktu perendaman selama 30 menit, 24 jam, 48 jam, dan 96 jam.	<i>Marshall Test</i>	Hasil uji durabilitas campuran aspal dengan filler abu cangkang kelapa sawit menunjukkan bahwa sampel yang direndam selama 24 jam memiliki nilai durabilitas tertinggi, yaitu 97%, dengan nilai stabilitas sebesar 1148,8 kg. Sedangkan sampel dengan waktu perendaman 48 jam memiliki nilai durabilitas 88,7% dan stabilitas 1052 kg, serta sampel yang direndam selama 96 jam menunjukkan nilai durabilitas 69,2% dengan stabilitas 818 kg.
5	2018	Desi Hari Buanti	Analisis Pengaruh Penggunaan <i>Fly Ash</i> dan <i>Asbuton</i> sebagai	Menganalisis pengaruh fly ash dan asbuton sebagai filler pada campuran AC-	Metode pengujian perendaman (Immersion	Dapat disimpulkan bahwa dari lima variasi filler yang diuji, kadar filler 4%

			<i>filler</i> pada <i>Asphalt concrete wearing course</i> (AC-WC)	WC terhadap nilai pengujian VIM, VMA, dan VFB	Test) dilakukan selama 24 jam dengan suhu +60°C .	merupakan kadar optimum untuk digunakan sebagai bahan pengisi pada campuran Split Mastic Asphalt, berdasarkan nilai stabilitas yang memenuhi spesifikasi Bina Marga, yakni nilai stabilitas lebih dari 670 kg
--	--	--	---	---	---	---



BAB III METODOLOGI

3.1 Tipe Penelitian

Metode penelitian adalah pendekatan sistematis yang mencakup proses pengumpulan, pengolahan, analisis, serta penyajian data untuk keperluan penelitian. Data yang dikumpulkan dapat berasal dari berbagai sumber seperti jurnal, artikel, tesis, media elektronik, maupun melalui kegiatan eksperimen, survei, dan wawancara. Oleh karena itu, pemilihan metode penelitian menjadi tahap awal yang penting. Dengan menetapkan metode yang tepat, peneliti dapat memahami alur penelitian secara menyeluruh, sehingga lebih mudah dalam merumuskan solusi dan mempercepat proses penelitian dengan hasil yang maksimal.

Penelitian ini menerapkan metode eksperimen merupakan pendekatan yang dipakai untuk melakukan pengujian hipotesis melalui observasi dan pengukuran secara sistematis. Fokus utama dari penelitian ini adalah menganalisis dampak penambahan serbuk besi dan resin terhadap karakteristik mekanik dan fisik campuran *asphalt concrete-wearing course* (AC-WC), serta, hasil parameter Marshall dibandingkan dengan standar yang berlaku menurut Standar Nasional Indonesia dan Bina Marga 2010. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang, yang beralamat di Terboyo Kulon, Kecamatan Genuk, Kota Semarang, Jawa Tengah 50112.

3.2 Alat Dan Bahan Penelitian

3.2.1 Kebutuhan Bahan dan Material

Pembuatan benda uji ini tidak lepas dari bahan material yang akan dipakai.

Berikut adalah bahan-bahan material yang akan dipakai dalam penelitian ini:

1. Material agregat kasar dan agregat halus yang digunakan diperoleh dari PT. Mohandas Oeloeng Kaliwungu.
2. Aspal yang digunakan yaitu Aspan Pen 60/70.
3. *Fly ash* yang dipergunakan sebagai material stabilisasi dengan kadar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%

3.2.2 Peralatan yang Dipakai

Peralatan yang akan digunakan untuk penelitian berasal dari Laboratorium

Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Berikut adalah peralatan yang digunakan :

1. Alat Uji Analisa Saringan

Dalam pengujian analisis saringan, beberapa alat yang akan kami gunakan antara lain:

- Satu set saringan ($1\frac{1}{2}$ ", 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", no.4, 8, 16, 30, 50, 100, dan 200)
- Timbangan dengan ketelitian 0,1 gr dari berat benda uji
- *Pan* dan *cover* (penutup)
- Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu
- Wadah plastik, kuas, dan sikat

2. Alat Uji Berat Jenis

Pengujian berat jenis dilakukan guna memperoleh berat jenis efektif dari campuran aspal.

3. Alat Uji Abrasi Agregat

Beberapa peralatan yang digunakan dalam pengujian agregat meliputi mesin *Los Angeles* untuk mengukur tingkat abrasi, ayakan standar untuk mengevaluasi gradasi agregat, oven pengering, timbangan, serta alat uji berat jenis yang terdiri dari piknometer, timbangan, dan pemanas. Selain itu, bak perendaman dan tabung *Sand Equivalent* juga digunakan sebagai bagian dari prosedur pengujian.

4. Alat Uji Aspal

Peralatan untuk pengujian aspal mencakup alat uji kelarutan, timbangan dan piknometer sebagai alat pengukur berat jenis, alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji titik lembek, serta perangkat untuk menguji kelarutan.

5. Alat Uji Marshall

Berikut adalah peralatan yang digunakan dalam pengujian Marshall Test:

- Mesin tekan lengkap dengan alat pembacanya.
- Kepala penekan.

- Cincin penguji.
- Arloji kelelahan.
- Water Bath dilengkapi dengan pengatur suhu minimal 30°C.
- imbangan yang dilengkapi dengan gantungan untuk benda uji dan wadah air.

3.3 Pengumpulan Data

Penelitian ini melibatkan pengumpulan berbagai data. Pengumpulan data yang dilakukan terbagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Data Primer, yaitu data yang dikumpulkan setelah dilakukannya penelitian, penelitian yang kami lakukan di Laboratorium Universitas Islam Sultan Agung Semarang ini memuat data primer :
 - a. Berat jenis agregat
 - b. Analisa saringan
 - c. Karakteristik *marshall*.
2. Data Sekunder, yaitu data yang sudah dilakukan oleh perusahaan uji balai pengujian material. Data sekunder yang kami gunakan merupakan aspal pertamina dengan nilai penetrasi 60/70.

3.4 Metode Pengolahan Data

Prosedur penelitian ini memuat beberapa tahap, yaitu :

1. Persiapan penyediaan alat-alat dan bahan yang dipakai.
2. Pengujian agregat dari sifat mekanis dan fisik.
3. Menyusun rancangan campuran AC-WC berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2010.
4. Mencari Kadar Aspal Optimum dan Variasi Komposisi *Fly Ash* yang digunakan 0%, 5%, 10%, 15%, 20%,
5. Melakukan pengujian benda uji menggunakan *Marshall Test* untuk memperoleh nilai Stabilitas, Flow, VIM, VMA, VFA, dan MQ dari sampel yang telah dibuat.

6. Analisa dan Pembahasan

Melakukan analisa benda uji dari campuran *fly ash* dengan pengujian *Marshall Test* dan mendapatkan parameter nilai (*Stability*, *Flow*, *VIM*, *VMA*, *VFA*, *MO*).

7. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dapat ditarik setelah seluruh pengujian selesai dilakukan, kemudian hasil analisis dan pembahasan diuraikan oleh peneliti untuk merumuskan kesimpulan serta saran. Nilai-nilai dari percobaan laboratorium, mulai dari uji material hingga pengujian sampel yang telah dibuat, dianalisis dan disajikan dalam bentuk grafik dan tabel untuk setiap parameter karakteristik Marshall, seperti *Stability*, *Flow*, *VIM*, *VMA*, *VA*, dan *MO*.

3.5 Pemeriksaan Karakteristik *Marshall*

3.5.1 Pemeriksaan agregat kasar dan halus

Untuk mendapat kualitas dan konsistensi aspal beton yang optimal, maka beberapa langkah yang akan dilakukan pemeriksaan agregat yang akan digunakan. Beberapa langkah pengecekan itu dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Penyaringan agregat kasar dan halus dengan menerapkan analisis saringan, analisis ini dilakukan dengan prosedur yang mengacu pada AASHTO T47- 82 atau SNI 03- 1968-1990.
2. Pedoman terkait kategori-kategori perhitungan agregat yang mengacu pada formulir referensi AASHTO T85-74 atau SNI 1969-2008.
3. Kategori-kategori penanganan agregat dilakukan melalui studi yang disesuaikan dengan prosedur pedoman AASHTO T84-74 atau SNI 1970- 2008.

4. Evaluasi sifat campuran dilakukan menggunakan metode *marshall* test dengan mengikuti prosedur evaluasi yang sesuai dengan SNI-06-2489-1991.
5. Teknik penggabungan rongga udara dan bobot isi dalam agregat menjadi perhatian utama.
6. Perhitungan jumlah total bahan yang melewati saringan No. 200 (0,075) dilakukan sesuai dengan formulir pemeriksaan SNI 03-4142-1996.

Pengujian sifat-sifat agregat kasar dan halus bertujuan untuk menetapkan pembagian ukuran butir (gradasi) pada agregat kasar, sedang, dan halus.

3.5.2 Pemeriksaan sifat fisis aspal

Pengujian aspal sebagai bahan bitumen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi beberapa metode, antara lain:

1. Analisa pengujian penetrasi aspal
2. Analisa pengujian titik lembek
3. Analisa pengujian titik nyala dan titik bakar
4. Analisa pengujian daktilitas
5. Analisa pengujian berat jenis bitumen.

3.6 Rancangan Campuran Aspal Beton

Komposisi Aspal Beton yang direncanakan yaitu *Fly Ash* dengan kadar 0%, 5%, 10%, 15%, 20% Dapat dilihat variasi *jobmix* campurannya pada Tabel 3.1.

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

Tabel 3. 1 Job Mix Design Aspal Beton Normal	100%
JUMLAH SAMPEL	3

Tabel 3. 2 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 0% dan Abu Sekam 2%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,20%	14,4
6	Aspal	5,80%	69,6
Total		100%	1200
Bahan Tambah			
	Fly Ash	0%	0
	Abu Sekam	2%	9,6
Jumlah Sample			3
Total			1209,6

Tabel 3. 3 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 0% dan Abu Sekam 4%

Tabel 3. 5 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 1% dan Abu Sekam 0%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,20%	14,4
6	Aspal	5,80%	69,6
6	Total	100%	1200
	Bahan Tambah	100%	1200
	Fly Ash	1%	4,8
	Abu Sekam	0%	0
	Julam Sample	4%	3 19,2
	Total		1204,8
	Total		1219,2

Tabel 3. 4 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 0% dan Abu Sekam 6%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,20%	14,4
6	Aspal	5,80%	69,6
	Total	100%	1200
	Bahan Tambah		
	Fly Ash	0%	0
	Abu Sekam	6%	28,8
	Julam Sample	3	
	Total		1228,8

Tabel 3. 6 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 1% dan Abu Sekam 2%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,20%	14,4
6	Aspal	5,80%	69,6
Total		100%	1200
Bahan Tambah			
	Fly Ash	1%	4,8
	Abu Sekam	2%	9,6
Jumlah Sample		3	
Total		1214,4	
No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300

Tabel 3. 7
Design
dengan Fly
Abu Sekam

Job Mix
Aspal Beton
Ash 1% dan
4%

3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,20%	14,4
6	Aspal	5,80%	69,6
Total		100%	1200
	Bahan Tambah		
	Fly Ash	1%	4,8
	Abu Sekam	4%	19,2
Jumlah Sample		3	
Total			1224

Tabel 3. 8 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 1% dan Abu Sekam 6%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,20%	14,4
6	Aspal	5,80%	69,6
Total		100%	1200
	Bahan Tambah		
	Fly Ash	1%	4,8
	Abu Sekam	6%	28,8
Jumlah Sample		3	
Total			1233,6

Tabel 3. 9 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 3% dan Abu Sekam 0%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,20%	14,4
6	Aspal	5,80%	69,6
Total		100%	1200
	Bahan Tambah		
	Fly Ash	3%	14,4
	Abu Sekam	0%	0
Jumlah Sample		3	
Total			1214,4

Tabel 3. 10 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 3% dan Abu Sekam 2%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,20%	14,4
6	Aspal	5,80%	69,6
Total		100%	1200
	Bahan Tambah		
	Fly Ash	3%	14,4
	Abu Sekam	2%	9,6
Jumlah Sample		3	
Total			1224

Tabel 3. 11 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 3% dan Abu Sekam 4%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,20%	14,4
6	Aspal	5,80%	69,6
Total		100%	1200
	Bahan Tambah		
	Fly Ash	3%	14,4
	Abu Sekam	4%	19,2
Jumlah Sample		3	
Total		1233,6	

Tabel 3. 12 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 3% dan Abu Sekam 6%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,20%	14,4
6	Aspal	5,80%	69,6
Total		100%	1200
	Bahan Tambah		
	Fly Ash	3%	14,4
	Abu Sekam	6%	28,8
Jumlah Sample		3	
Total		1243,2	

Tabel 3. 13 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 5% dan Abu Sekam 0%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,20%	14,4
6	Aspal	5,80%	69,6
Total		100%	1200
	Bahan Tambah		
	Fly Ash	5%	24
	Abu Sekam	0%	0
Jumlah Sample		3	
Total		1224	

Tabel 3. 14 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 5% dan Abu Sekam 2%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,20%	14,4
6	Aspal	5,80%	69,6
Total		100%	1200
	Bahan Tambah		
	Fly Ash	5%	24
	Abu Sekam	2%	9,6
Jumlah Sample		3	
Total		1233,6	

Tabel 3. 15 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 5% dan Abu Sekam 4%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,20%	14,4
6	Aspal	5,80%	69,6
Total		100%	1200
	Bahan Tambah		
	Fly Ash	5%	24
	Abu Sekam	4%	19,2
Jumlah Sample		3	
Total		1243,2	

Tabel 3. 16 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 5% dan Abu Sekam 6%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,20%	14,4
6	Aspal	5,80%	69,6
Total		100%	1200
	Bahan Tambah		
	Fly Ash	5%	24
	Abu Sekam	6%	28,8
Jumlah Sample		3	
Total		1252,8	

Setiap benda uji terdiri dari 3 sampel sebagai perbandingan. Apabila salah satu sampel tidak memenuhi spesifikasi teknis Bina Marga 2018 Revisi 2, sementara dua sampel lainnya memenuhi standar tersebut, maka hasil dari sampel tersebut tetap dapat dibandingkan.

Tabel 3. 17 Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Oprimum

Nama Sampe l	Agg. Batu 3/4"		Agg. Batu 1/2"		Abu Batu		Fly Ash		Abu Sekam		Filler		Aspal		Total Agregat		Jumlah Sampel
	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	
SF0A0	300	25	300	25	480	40	0	0	0	0	14,4	1,2	69,6	5,8	1200	100	3
SF0A2	300	25	300	25	480	40	0	0	9,6	2	14,4	1,2	69,6	5,8	1209,6	102	3
SF0A4	300	25	300	25	480	40	0	0	19,2	4	14,4	1,2	69,6	5,8	1219,2	104	3
SF0A6	300	25	300	25	480	40	0	0	28,8	6	14,4	1,2	69,6	5,8	1228,8	106	3
SF1A0	300	25	300	25	480	40	4,8	1	0	0	14,4	1,2	69,6	5,8	1204,8	101	3
SF1A2	300	25	300	25	480	40	4,8	1	9,6	2	14,4	1,2	69,6	5,8	1214,4	103	3
SF1A4	300	25	300	25	480	40	4,8	1	19,2	4	14,4	1,2	69,6	5,8	1224	105	3
SF1A6	300	25	300	25	480	40	4,8	1	28,8	6	14,4	1,2	69,6	5,8	1233,6	107	3
SF3A0	300	25	300	25	480	40	14,4	3	0	0	14,4	1,2	69,6	5,8	1214,4	103	3
SF3A2	300	25	300	25	480	40	14,4	3	9,6	2	14,4	1,2	69,6	5,8	1224	105	3
SF3A4	300	25	300	25	480	40	14,4	3	19,2	4	14,4	1,2	69,6	5,8	1233,6	107	3
SF3A6	300	25	300	25	480	40	14,4	3	28,8	6	14,4	1,2	69,6	5,8	1243,2	109	3
SF5A0	300	25	300	25	480	40	24	5	0	0	14,4	1,2	69,6	5,8	1224	105	3
SF5A2	300	25	300	25	480	40	24	5	9,6	2	14,4	1,2	69,6	5,8	1233,6	107	3
SF5A4	300	25	300	25	480	40	24	5	19,2	4	14,4	1,2	69,6	5,8	1243,2	109	3
SF5A6	300	25	300	25	480	40	24	5	28,8	6	14,4	1,2	69,6	5,8	1252,8	111	3
TOTAL SAMPEL																	48

3.7 Bagan Alur Penelitian



Gambar 3. 1 Bagan Alur Penelitian

3.8 Jadwal Penyelesaian TA

No	Keterangan	Maret				April				Mei				Juni				Juli			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1	Disposisi TA																				
2	Pengumpulan Referensi dan Literatur Terkait																				
3	Memulai BAB (1-3)																				
4	Diskusi dan Revisi dengan dosen pembimbing Submit Proposal Serta Seminal Proposal																				
5	Mulai Penelitian, Melengkapi BAB Hasil Penelitian (BAB 4, Diskusi dan Revisi dengan Dosen Pembimbing)																				
6	Melengkapi Pembahasan (BAB 5) dan Kesimpulan Serta Saran, Mulai Penyusunan draf Lengkap Tugas Akhir																				
7	Diskusi dan Revisi dengan dosen pembimbing Submit Draft final Tugas Akhir																				
8	Pelaksanaan Seminar hasil																				
9	Revisi Akhir Tugas Akhir, Pelaksanaan Seminar Pendadaran, Pembuatan Publikasi																				



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pendahuluan

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

Pada tahap penyediaan bahan, disiapkan agregat batu pecah yang diambil dari *stone crusher* PT. Mohandas Oeloeng Kendal, aspal penetrasi 60/70 diambil dari *Asphalt Mixing Plant* (AMP) PT. Deltamarga Adyatama (DMA) Batang, *Fly Ash* diambil dari PLTU, Abu sekam didapatkan dari tempat penggilingan padi, yang selanjutnya akan dilakukan pengujian perbandingan. Seluruh proses pengujian material, pembuatan sampel benda uji, dan pelaksanaan Marshall Test dilaksanakan di Laboratorium Transportasi Jalan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.



Gambar 4. 1 Stone Crusher PT. Semarang Multicon

Sumber : Hasil Penelitian, 2025



Gambar 4. 2 Asphalt Mixing Plant (AMP) PT. Semarang
Multicon

Sumber : Hasil Penelitian, 2025



Gambar 4. 3 Aspal Penetrasi 60/70

Sumber : Hasil Penelitian, 2025



Gambar 4. 4 *Fly Ash*

Sumber : Hasil Penelitian 2025



Gambar 4. 5 *Abu Sekam*

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

4.2. Pengujian Material

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

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

Penelitian ini menggunakan aspal penetrasi 60/70, yang biasanya disebut dengan aspal Pertamina. Pengujian ini dilakukan untuk mengukur tiga parameter, yaitu penetrasi, titik lembek, dan berat jenis aspal. Parameter-parameter tersebut digunakan untuk menunjukkan karakteristik utama aspal yang dipakai dalam campuran perkerasan lentur. Dengan merujuk pada perbandingan dari Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) Nomor 16.1/SE/Db/2020, hasil pengujian disajikan dalam Tabel 4.1 berikut ini.

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

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

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Tabel 4.1 memperlihatkan bahwa hasil pengujian aspal pen 60/70 sesuai dengan persyaratan spesifikasi. Semua material yang diuji memenuhi standar yang ditetapkan dan layak digunakan sebagai campuran aspal Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC). Pengujian penetrasi menghasilkan nilai yang berada dalam rentang yang disyaratkan. Secara keseluruhan, hasil pengujian ini mengkonfirmasi bahwa aspal pen 60/70 meningkatkan daya tahan dan stabilitas.

4.2.2. Pengujian Gradasi *Aggregate*

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

Tabel 4. 2 Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat

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

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

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

4.2.3. Pengujian Gradasi *Aggregate Hot Bin II*

Pengujian gradasi agregat pada *Hot Bin II* merupakan langkah penting dalam menentukan kualitas dan kesesuaian agregat untuk campuran aspal. Proses pengujian gradasi agregat *Hot Bin II* terdiri dari material agregat kasar atau *coarse aggregate* yang merupakan pengukuran distribusi ukuran agregat kasar yang meliputi material yang lolos dari saringan 1 ½ inci hingga ¾ inci, serta material yang tertahan mulai dari saringan 1/2 inci hingga #200. Tabel 4.3 berikut menunjukkan hasil gradasi berdasarkan peraturan dari (SNI ASTM C136:2012).

Tabel 4. 3 Pengujian Gradasi *Aggregate Hot Bin II*

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

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Berdasarkan data analisis saringan agregat kasar dari Hot Bin II, seluruh material (100%) lolos saringan ¾", dengan sebagian tertahan mulai dari saringan 1/2". Hal ini mengindikasikan bahwa material memenuhi standar sesuai spesifikasi yang berlaku. Untuk agregat yang lolos saringan 1/2" mencapai 47,95%. Sedangkan pada sampel agregat sedang, sebanyak 5,10% lolos saringan 3/8" dan 1,23% lolos saringan #4.

4.2.4. Pengujian Gradasi *Aggregate Hot Bin III*

Pengujian gradasi agregat pada *Hot Bin III* bertujuan untuk mengevaluasi distribusi ukuran agregat yang terdiri dari material medium agregat atau agregat kasar yang

lolos saringan 1 ½” hingga ½” dan tertahan mulai dari saringan 3/8” hingga saringan nomor #200. Berdasarkan peraturan dari (SNI ASTM C136:2012) guna memastikan bahwa agregat memenuhi spesifikasi yang diperlukan untuk aplikasi aspal. Hasil gradasi agregat ditunjukkan pada Tabel 4.4. Untuk menetapkan gradasi agregat pada lapisan Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC), digunakan agregat kasar berupa batu pecah dengan ukuran maksimal 1/2”.

Tabel 4. 4 Hasil Analisa Pembagian Butiran Hot Bin III

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

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Berdasarkan data analisis saringan agregat kasar pada Hot Bin III, 100% agregat lolos saringan 1/2" dan mulai tertahan pada saringan 3/8". Untuk sampel agregat sedang, sebanyak 64,84% lolos saringan 3/8" dan 9,34% tertahan pada saringan #4. Agregat yang lolos saringan #8 mencapai 6,90%. Secara keseluruhan, hasil analisis saringan ini menunjukkan bahwa material yang digunakan telah memenuhi standar yang berlaku (SNI ASTM C136:2012). Kesesuaian ini penting untuk memastikan bahwa campuran aspal yang dihasilkan berkualitas tinggi, mampu menahan beban lalu lintas, dan tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan.

4.2.5. Pengujian Gradasi *Aggregate Hot Bin IV*

Pengujian gradasi agregat Hot Bin IV meliputi material agregat halus yang melewati saringan 1 ½” hingga nomor #4, serta tertahan pada saringan nomor #8. Berdasarkan peraturan dari (SNI ASTM C136:2012), hasil gradasi agregat ditunjukkan pada Tabel 4.5. Untuk menentukan gradasi agregat pada lapisan

Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) agregat halus yang digunakan yaitu abu batu.

Tabel 4. 5 Hasil Analisa Pembagian Hot Bin IV

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

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Berdasarkan data analisis saringan agregat halus pada Hot Bin IV berupa abu batu, 100% material lolos saringan No. #4 dan tertahan pada saringan No. #8. Selain itu, sebanyak 75,10% termasuk agregat yang lolos saringan No. #8, sedangkan agregat yang lolos saringan No. #16 mencapai 49,10%. Secara keseluruhan, hasil analisis saringan ini menunjukkan bahwa material yang digunakan memenuhi persyaratan sesuai standar (SNI ASTM C136:2012). Kesesuaian tersebut penting untuk menjamin bahwa campuran aspal yang dihasilkan memiliki kualitas tinggi, mampu menahan beban lalu lintas, dan tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan.

4.2.6. Pengujian Pasir

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

Tabel 4. 6. Hasil Analisa Pembagian Butiran Pasir

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

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Berdasarkan data analisis saringan agregat halus pasir, seluruh material (100%) lolos saringan No. #30 dan mulai tertahan pada saringan No. #50. Sebanyak 38,20% agregat lolos saringan No. #50, sementara 10,40% lainnya lolos saringan No. #100. Secara keseluruhan, hasil analisis ini menunjukkan bahwa material yang digunakan memenuhi standar yang ditetapkan (SNI ASTM C136:2012). Kesesuaian tersebut sangat penting untuk memastikan campuran aspal yang dihasilkan memiliki kualitas tinggi, mampu menahan beban lalu lintas, dan tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan.

4.2.7. Pengujian *Filler* (Semen)

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

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

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

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada analisa saringan menunjukkan bahwa *filler* terbagi pada setiap saringan, pada setiap tabel pembagian butiran jenis material *filler* lolos saringan No. 1” sampai No. #100, dan *filler* hanya akan tertahan pada saringan No. #200 dengan hasil 98,20%. Secara umum, hasil analisis saringan ini memperlihatkan bahwa bahan yang digunakan sudah sesuai dengan spesifikasi dalam standar (SNI ASTM C136:2012). Kesesuaian tersebut sangat penting agar campuran aspal yang dibuat memiliki mutu tinggi, mampu menahan beban lalu lintas, dan tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan.

4.2.8. Hasil Pengujian *Fly Ash*

Fly Ash tanah liat merupakan material yang digunakan sebagai substitusi penggunaan abu batu, yang lolos saringan No. #100 dan tertahan saringan No. #200. Material *Fly Ash* ini dihaluskan agar memenuhi syarat gradasi yang sudah ditentukan agar bisa menjadi bahan tambah campuran aspal. Tabel 4.8 berikut menunjukkan hasil gradasi berdasarkan peraturan dari (SNI ASTM C136:2012).

Tabel 4. 8. Hasil Analisa Pembagian Butiran

UKURAN SARINGAN		TERTAHAN		LOLOS	TERTAHAN		LOLOS	Rata -rata
SIEVE SIZE		gr	%	%	gr	%	%	
inch	mm							
1"	25							
3/4"	19							
1/2"	12,5							
3/8"	9,5							
# 4	4,75		-	100,00		-	100,00	100,00
# 8	2,36	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 16	1,15	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 30	0,6	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 50	0,3	-	-	98,00	-	-	100,00	99,00
#100	0,15	-	-	87,00	-	-	100,00	93,50
# 200	0,075	1,10	1,10	80,00	1,30	1,30	98,70	89,35
Weight Of Sample (gr)		100,00			100,00			

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Untuk *Fly Ash* terbagi disetiap saringan karena memiliki partikel halus atau kecil dan juga memiliki distribusi partikel yang seragam dengan syarat gradasi tertentu. *Fly Ash* hanya tertahan pada saringan No. #200 sebanyak 2%. Agregat yang lolos saringan No. #100 mencapai 87%. Secara keseluruhan, hasil analisis saringan ini menunjukkan bahwa material yang digunakan sudah sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan dalam standar (SNI ASTM C136:2012). Kepatuhan ini sangat penting untuk menjamin bahwa campuran aspal yang dihasilkan memiliki mutu tinggi, mampu menahan beban lalu lintas, dan tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan.

4.2.9. Hasil Perhitungan Kombinasi Agregat

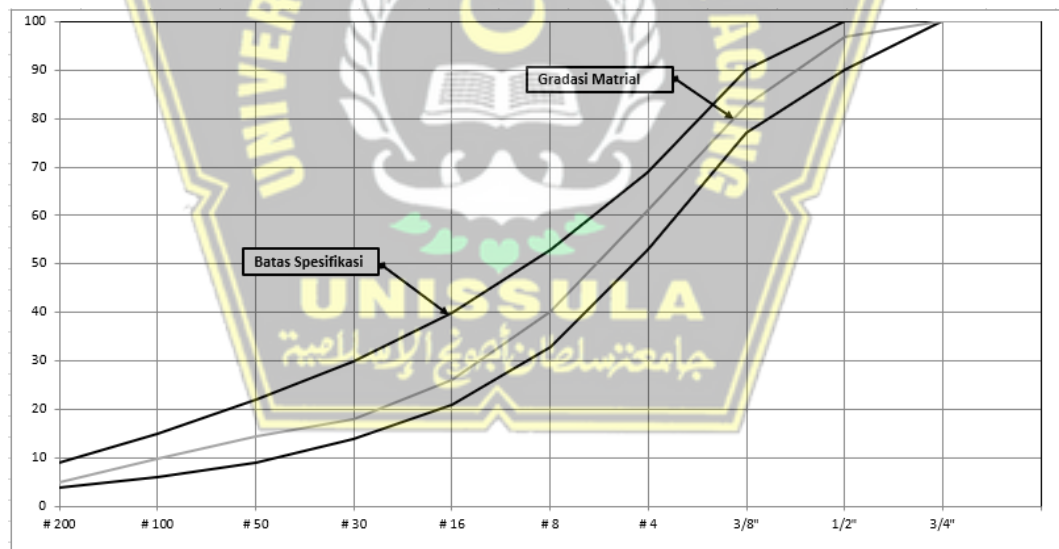
Kombinasi agregat adalah proses penyatuan atau penggabungan material menjadi satu kesatuan yang lebih utuh. Proses ini terdiri dari masing-masing material agregat yang lolos dari saringan 3/4" dan tertahan mulai dari saringan 1/2" sampai dengan saringan No. #200. Dalam kombinasi agregat juga termasuk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

Tabel 4. 9. Perhitungan Kombinasi Agregat

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

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Hasil dari grafik kombinasi agregat dan batas spesifikasi dapat dilihat pada Grafik 4.1 di bawah.



Grafik 4. 1 Kombinasi Gradasi Agregat

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Grafik 4.1 memperlihatkan bahwasanya pengujian analisa kombinasi agregat memiliki prosentase lolos saringan dari No. #200 hingga 1". Hasil pengujian tidak boleh melewati batas atas atau batas bawah sesuai dengan standar yang tersedia. Jika terdapat agregat yang melewati salah satu batas, agregat tersebut tidak

diizinkan untuk digunakan sebagai material pengisi pada AC – WC, karena tidak sesuai dengan ketentuan standar yang berlaku.

4.3. Hasil Perhitungan Kombinasi

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

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

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

4.4.1. Pengujian Berat Jenis Dengan Campuran Komposisi Normal

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

Tabel 4. 10. Pemeriksaan Berat Jenis Komposisi Normal

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

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

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

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

Dalam penelitian ini, campuran aspal terdiri dari 4 komposisi yaitu: komposisi *Fly Ash* adalah 0%,1%,3% dan 5% serta bahan tambah Abu Sekam adalah 0%, 2%, 4%, 6%, dan komposisi normal. setiap komposisi memiliki 3 variasi yang digunakan sebagai pembanding.

Tabel 4. 11. Rincian Benda Uji

No	Kode Benda Uji	Keterangan	Masing-masing	Total
1	SF0A0-6	Substitusi <i>Fly Ash</i> kadar 0% dengan bahan tambah Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%)	3 Buah	12 Buah
2	SF1A0-6	Substitusi <i>Fly Ash</i> kadar 1% dengan bahan tambah Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%)	3 Buah	12 Buah
3	SF3A0-6	Substitusi <i>Fly Ash</i> kadar 3% dengan bahan tambah Abu Sekam Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%)	3 Buah	12 Buah
4	SF5A0-6	Substitusi <i>Fly Ash</i> kadar 5% dengan bahan tambah Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%)	3 Buah	12 Buah

Setelah komposisi campuran aspal ditentukan, sampel benda uji diambil. Suhu saat pencampuran aspal dengan agregat juga diperhatikan menunjukkan viskositas kinematis 170/20 centikotes, dan suhu di mana aspal dipadatkan menunjukkan viskotas kinematis 280/30 centikotes.

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

4.4.3. Ringkasan Hasil Pengujian

Setelah persentase setiap fraksi agregat dan aspal dalam komposisi diketahui, berat material untuk rancangan campuran aspal dihitung sesuai dengan kapasitas mold yang tersedia. Contohnya untuk campuran AC-WC adalah sebagai berikut:

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

Tabel 4.14. memberikan informasi tambahan terkait berat aspal dan berat agregat sesuai dengan kadar aspal yang digunakan dalam perencanaan ini.

Tabel 4. 12. Komposisi Material AC - WC

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

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

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

4.5. Pembuatan Benda Uji

Setelah memperoleh hasil pengujian Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,8%, benda uji kemudian dibuat dengan memodifikasi menggunakan limbah Fly Ash (sebagai substitusi abu batu) dan Abu Sekam. Dari modifikasi tersebut ada 16 variasi dan tiga benda uji akan dibuat untuk setiap variasi, yang ditunjukkan pada tabel 4.15.

Tabel 4. 13. Modifikasi dan Variasi Benda Uji

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

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

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

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

Pemeriksaan berat jenis campuran (GMM) digunakan untuk menghitung kepadatan dan tingkat pemadatan. Dan termasuk parameter penting dalam proses kontrol kualitas pada konstruksi jalan karena digunakan untuk menentukan berat jenis maksimum benda uji. Campuran aspal dengan modifikasi *Fly Ash* dan Abu Sekam sebanyak 16 variasi dengan 3 benda uji untuk pengujian *Maximum Specific Gravity* (GMM).

4.6.1. Berat Jenis Campuran Substitusi *Fly Ash* 0% - 1% (SF0A0-SF1A0) dan

Bahan Tambah Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%)

Pemeriksaan berat jenis pada campuran substitusi *Fly Ash* 0% - 1% dan bahan tambah Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%) dengan 3 benda uji GMM (*Maximum Specific Gravity*) atau sering disebut berat jenis maksimum yang bertujuan untuk mengevaluasi perubahan sifat fisik campuran akibat penambahan *Fly Ash* tanah liat dan Abu Sekam.

Tabel 4. 14. Pemeriksaan berat jenis Campuran Fly Ash 0% - 1% (SF0A0-SF1A0) dan bahan tambah Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%)

No.	Contoh No :			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Berat Botol + Contoh		Grm	1.656	1.656	1.636	1.636	1.586	1.586	1.556	1.556	1.536	1.536
2	Berat Botol		Grm	856	856	856	856	856	856	856	856	856	856
3	Berat Contoh	(1 - 2)	Grm	800	800	780	780	730	730	700	700	680	680
4	Berat Botol + Contoh + Air		Grm	2.324	2.324	2.430	2.430	2.398	2.398	2.402	2.402	2.300	2.300
5	Berat botol + Air		Grm	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011
6	Berat air	(4 - 5)	Grm	313	313	419	419	387	387	391	391	289	289
7	Volume contoh	(3 - 6)	Grm	487	487	361	361	343	343	309	309	391	391
8	Max Specific Gravity (Gmm)	(3 : 7)	Grm / cc	1,643	1,643	2,161	2,161	2,128	2,128	2,265	2,265	1,739	1,739
9	Temperatur air T °C		Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu		Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)	(8 x 10)	Grm / cc	1,643	1,643	2,161	2,161	2,128	2,128	2,265	2,265	1,739	1,739
			Rata - rata		1,643		2,161		2,128		2,265		1,739
			Variasi		SF0A0		SF0A2		SF0A4		SF0A6		SF1A0

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Dari tabel 4.16 mendapatkan hasil pemeriksaan GMM (*Maximum Specific Gravity*) atau berat jenis maksimum dari aspal modifikasi campuran Fly Ash dan Abu Sekam 0%, 2%, 4% dan 6%. Dengan nilai GMM (*Maximum Specific Gravity*) atau berat jenis maksimum campuran adalah 2,265 gr / cc.

4.6.2. Berat Jenis Campuran Substitusi Fly Ash 1% - 3% (SF1A2-SF3A2) dan

Bahan Tambah Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%)

Pemeriksaan berat jenis pada campuran substitusi Fly Ash 1% - 3% dan bahan tambah Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%) dengan 3 benda uji GMM (*Maximum Specific Gravity*) atau sering disebut berat jenis maksimum yang bertujuan untuk mengevaluasi perubahan sifat fisik campuran akibat penambahan Fly Ash dan Abu Sekam.

Tabel 4. 15. Pemeriksaan berat jenis Campuran Fly Ash 1% - 3% (SF1A2-SF3A2) dan bahan tambah Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%).

No.	Contoh No :			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Berat Botol + Contoh		Grm	1.516	1.516	1.476	1.476	1.456	1.456	1.436	1.436	1.416	1.416
2	Berat Botol		Grm	856	856	856	856	856	856	856	856	856	856
3	Berat Contoh	(1 - 2)	Grm	660	660	620	620	600	600	580	580	560	560
4	Berat Botol + Contoh + Air		Grm	2.374	2.374	2.260	2.260	2.339	2.339	2.320	2.320	2.321	2.321
5	Berat botol + Air		Grm	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011
6	Berat air	(4 - 5)	Grm	363	363	249	249	328	328	309	309	310	310
7	Volume contoh	(3 - 6)	Grm	297	297	371	371	272	272	271	271	250	250
8	Max Specific Gravity (Gmm)	(3 : 7)	Grm / cc	2,222	2,222	1,671	1,671	2,206	2,206	2,140	2,140	2,240	2,240
9	Temperatur air T °C		Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu		Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)	(8 x 10)	Grm / cc	2,222	2,222	1,671	1,671	2,206	2,206	2,140	2,140	2,240	2,240
			Rata - rata		2,222		1,671		2,206		2,140		2,240
			Variasi		SF1A2		SF1A4		SF1A6		SF3A0		SF3A2

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Dari tabel 4.17 mendapatkan hasil pemeriksaan GMM (*Maximum Specific Gravity*) atau berat jenis maksimum dari aspal modifikasi campuran *Fly Ash* 1% - 3% dan Abu Sekam 0%, 2%, 4% dan 6%. Dengan nilai GMM (*Maximum Specific Gravity*) atau berat jenis maksimum campuran adalah 2,222 gr / cc.

4.6.3. Berat Jenis Campuran Substitusi *Fly Ash* 3% - 5% (SF3A4-SF5A6) dan Bahan Tambah Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%)

Pemeriksaan berat jenis pada campuran substitusi *Fly Ash* 3% - 5% dan bahan tambah Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%) dengan 3 benda uji GMM (*Maximum Specific Gravity*) atau sering disebut berat jenis maksimum yang bertujuan untuk mengevaluasi perubahan sifat fisik campuran akibat penambahan *Fly Ash* tanah liat dan Abu Sekam.

Tabel 4. 16. Pemeriksaan berat jenis Campuran *Fly Ash* 3% - 5% (SF3A4-SF5A6) dan bahan tambah Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%)

No.	Contoh No :		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Berat Botol + Contoh	Grm	1.396	1.396	1.376	1.376	1.356	1.356	1.371	1.371	1.366	1.366	1.356	1.356
2	Berat Botol	Grm	856	856	856	856	856	856	856	856	856	856	856	856
3	Berat Contoh (1 - 2)	Grm	540	540	520	520	500	500	515	515	510	510	500	500
4	Berat Botol + Contoh + Air	Grm	2.320	2.320	2.325	2.325	2.287	2.287	2.285	2.285	2.270	2.270	2.272	2.272
5	Berat botol + Air	Grm	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011
6	Berat air (4 - 5)	Grm	309	309	314	314	276	276	274	274	259	259	261	261
7	Volume contoh (3 - 6)	Grm	231	231	206	206	224	224	241	241	251	251	239	239
8	Max Specific Gravity (Gmm) (3 : 7)	Grm / cc	2,338	2,338	2,524	2,524	2,232	2,232	2,137	2,137	2,032	2,032	2,092	2,092
9	Temperatur air T ° C	Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu	Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm) (8 x 10)	Grm / cc	2,338	2,338	2,524	2,524	2,232	2,232	2,137	2,137	2,032	2,032	2,092	2,092
	Rata - rata		2,338		2,524		2,232		2,137		2,032		2,092	
	Variasi		SF3A4		SF3A6		SF5A0		SF5A2		SF5A4		SF5A6	

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Dari tabel 4.18 mendapatkan hasil pemeriksaan GMM (*Maximum Specific Gravity*) atau berat jenis maksimum dari aspal modifikasi campuran *Fly Ash* 5% - 6% dan bahan tambah Abu Sekam 0%, 2%, 4% dan 6%. Dengan nilai GMM (*Maximum Specific Gravity*) atau berat jenis maksimum campuran adalah 2,524 gr / cc.

4.7. Hasil Pemeriksaan *Marshall Test*



Gambar 4. 6 Pengujian Marshall

Setelah merancang komposisi dan pembuatan benda uji dengan campuran komposisi yang telah dirancang dalam penelitian ini yang menghasilkan pembuatan 63 sampel uji. Setiap sampel akan melalui pengukuran tinggi, lebar, dan berat dalam 3 kondisi yang berbeda : kering, perendaman 24 jam dan kondisi *Saturated Surface-Dry* (SSD). Proses perendaman dilakukan dalam *waterbath* (perendaman sampel dalam air yang dipanaskan) dalam suhu 60° C selama 30 menit, proses ini dilakukan sebelum melakukan pengujian selanjutnya. Setelah proses perendaman selesai sampel diuji menggunakan alat *Marshall* untuk memperoleh data mengenai stabilitas dan flow (kelelehan).

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

Hasil setelah pemeriksaan *Marshall Test* berupa rekapitulasi yang tertera pada sebuah tabel dan dalam bentuk grafik dari seluruh nilai parameter-parameter tersebut dapat dilihat pada tabel berikut. Pengujian ini telah sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Hasil yang diperoleh dari proses pengujian dibagi dalam 3 komposisi yaitu, komposisi normal, komposisi dengan kombinasi bahan tambah *Fly Ash* dan komposisi dengan kombinasi bahan tambah Abu Sekam.

4.7.1. Hasil *Marshall Test* Benda Uji Kombinasi *Fly Ash* 0% Dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Hasil pengujian *marshall* untuk benda uji dengan komposisi modifikasi pecahan *Fly Ash* 0% dengan Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4% dan 6% dengan jumlah tiga benda uji setiap komposisi. Nilai *Marshall* untuk setiap komposisi dapat ditemukan secara detail pada Tabel 4.20. Tabel tersebut menyajikan data penting terkait parameter-parameter seperti VMA, VIM, VFB, stabilitas, flow, dan Marshall Quotient, yang menjadi indikator utama dalam menilai kinerja campuran.

Tabel 4. 17. Hasil Marshall Komposisi Fly Ash 0% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

BJ Aspal (T) : 1,035		BJ Efektif Total Agregat (Gse) : 2,629				BJ Total Agg (Gsb) : 2,749		Kalibrasi Proving Ring : 9,817 Kg						
no benda uji	kadar aspal	berat di udara	berat dlm 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	kelelahan di plastis (flow)	hasil bagi marshall (mq)	
	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
	% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	c / f	GMM	100 - (100 - b)g gsb	100 - (100 * g) h	100(1 - j) i				m / n
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
SF0A0 BU 1	5,8	1132,0	648,0	1131,2	483,2	2,343	1,643	19,72	-42,61	316,07	100	981,70	5,50	178,49
SF0A0 BU 2	5,8	1026,6	595,2	1030,4	435,2	2,359	1,643	19,17	-43,60	327,47	110	1079,87	5,10	211,74
SF0A0 BU 3	5,8	1125,6	651,8	1139,8	488,0	2,307	1,643	20,96	-40,41	292,79	89	873,71	5,50	158,86
Rata-rata	5,8					2,336	1,643	19,95	-42,21	312,11	99,67	978,43	5,37	182,32
SF0A2 BU 1	5,8	1244,4	668,4	1242,6	574,2	2,167	2,161	25,74	-0,30	101,17	95	932,62	4,30	216,89
SF0A2 BU 2	5,8	1151,6	660,0	1156,4	496,4	2,320	2,161	20,50	-7,37	135,94	116	1138,77	5,80	196,34
SF0A2 BU 3	5,8	1147,6	658,8	1146,2	487,4	2,355	2,161	19,32	-8,97	146,45	139	1364,56	5,70	239,40
Rata-rata	5,8					2,281	2,161	21,85	-5,55	127,86	116,67	1145,32	5,27	217,47
SF0A4 BU 1	5,8	1110,2	620,6	1116,0	495,4	2,241	2,128	23,21	-5,30	122,83	129	1266,39	7,20	175,89
SF0A4 BU 2	5,8	1214,8	675,4	1204,0	528,6	2,298	2,128	21,25	-7,98	137,56	126	1236,94	7,60	162,76
SF0A4 BU 3	5,8	1203,2	686,2	1219,8	533,6	2,255	2,128	22,73	-5,95	126,17	122	1197,67	4,10	292,12
Rata-rata	5,8					2,265	2,128	22,40	-6,41	128,85	125,67	1233,67	6,30	195,82
SF0A6 BU 1	5,8	1184,2	643,2	1191,4	548,2	2,160	2,265	25,98	4,64	82,12	94	922,80	6,20	148,84
SF0A6 BU 2	5,8	1172,2	631,0	1175,4	544,4	2,153	2,265	26,22	4,95	81,11	93	912,98	7,30	125,07
SF0A6 BU 3	5,8	1188,4	653,2	1185,0	531,8	2,235	2,265	23,42	1,36	94,22	136	1335,11	5,40	247,24
Rata-rata	5,8					2,183	2,265	25,21	3,65	85,82	107,67	1056,96	6,30	167,77

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.11 dengan rumus:

$$VIM = \left(100 \times \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) \%$$

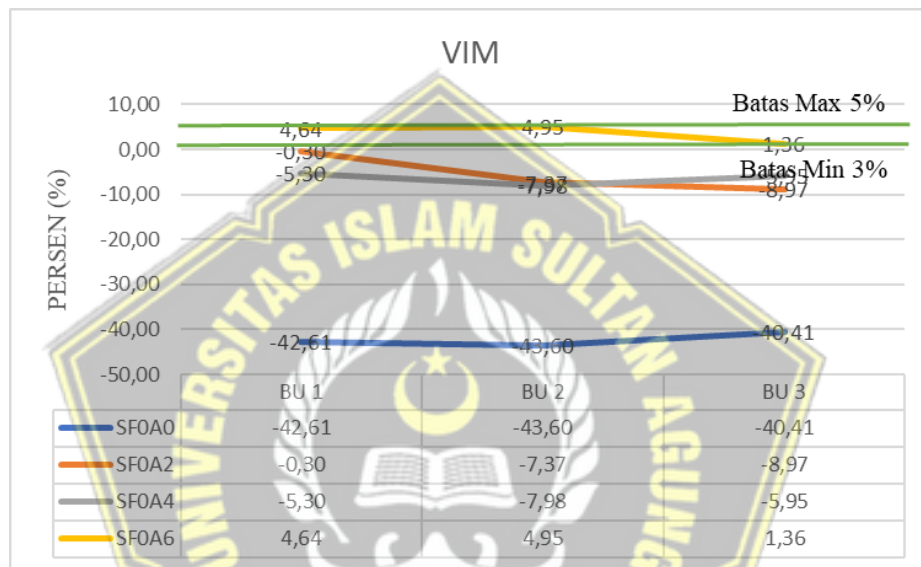
Keterangan:

VIM = Setelah pemadatan, rongga udara pada campuran diambil dari persentase volume total (%)

Gmm = Berat jenis campuran *max* teoritis setelah pemadatan (gr/cm³)

Gmb = Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cm³)

Berdasarkan Tabel 4.20, nilai parameter dari *Marshall Test* menunjukkan variasi yang dipengaruhi oleh perbedaan campuran Fly Ash dan Abu Sekam. Dan pada Grafik 4.10 nilai VIM (*Void in Mix*) campuran Fly Ash kadar 0% dengan Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4%, dan 6% tidak memenuhi spesifikasi dengan hasil rata-rata Rongga Udara (VIM) adalah -42,21%, -5,55%, -6,41%, dan 3.65%. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji tidak memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Sedangkan untuk spesifikasi dari Bina marga nilai minimum VIM (*Void in Mix*) berada pada angka 3.00% dan maksimum berada pada angka 5.00%.



Grafik 4. 2. VIM Komposisi Fly Ash 0% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.17 dengan rumus:

$$VMA = \left(100 - \left[\frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{(100 + Pb)} 100 \right] \right) \%$$

VMA = Rongga udara mineral agregat, diambil dari persentase volume total (%)

Gmb = Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cm³)

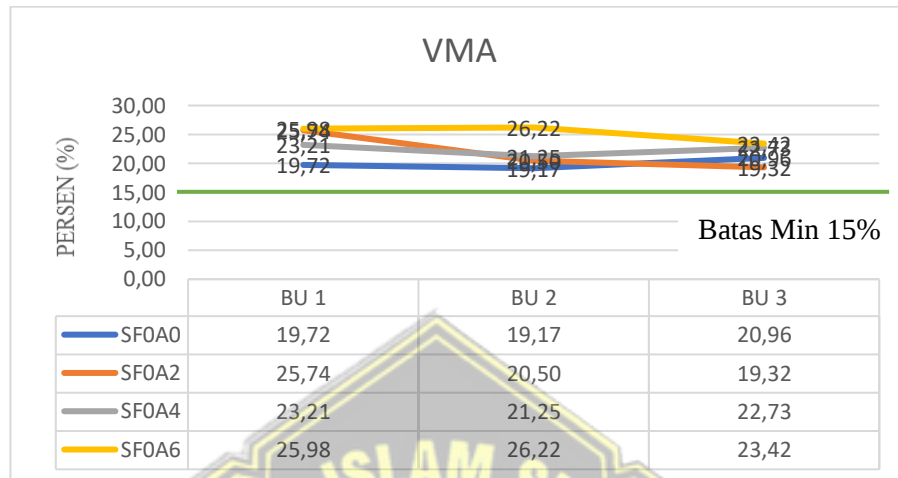
Gsb = Berat jenis *bulk* agregat (gr/cm³)

Ps = Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran (%)

Pb = KAO (%)

nilai VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) yang dihasilkan campuran Fly Ash dengan kadar 0% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4%, dan 6%

memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) yaitu 19,95%, 21,85%, 22,40%, dan 25,21%. Untuk nilai spesifikasi VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) dari Bina Marga yaitu minimum dengan angka 15,00%.



Grafik 4. 3. VMA untuk Komposisi Fly Ash 0% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.12 dengan rumus

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

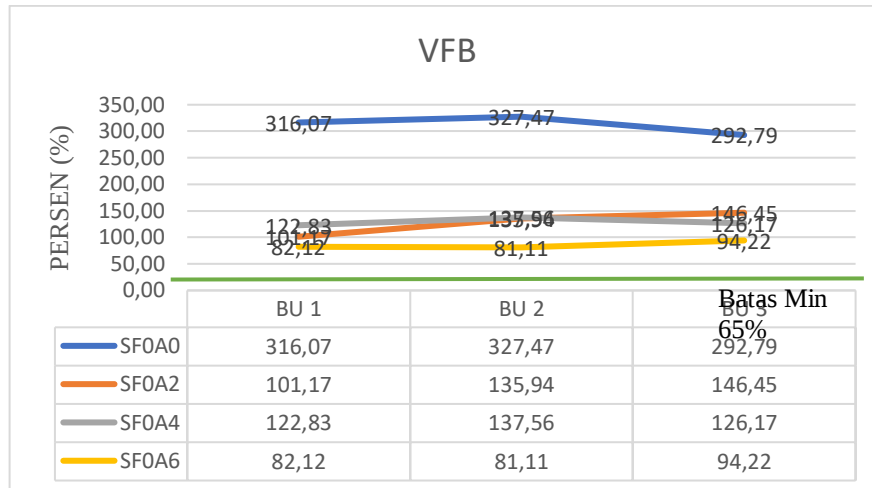
Keterangan:

VFB = Persentase volume ruang kosong dalam campuran aspal (%)

VIM = Setelah pemadatan, rongga udara pada campuran diambil dari persentase volume total (%)

VMA = Rongga udara mineral agregat, diambil dari persentase volume total (%)

VFB (*Void Filled with Bitumen*) yang dihasilkan campuran *Fly Ash* dengan kadar 0% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4%, dan 6% memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata VFB (*Void Filled with Bitumen*) yaitu 312,11%, 127,86%, 128,85%, dan 85,82%. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Spesifikasi minimum untuk VFB menurut Bina Marga adalah 65%. Dengan hasil rata-rata yang jauh di atas nilai minimum tersebut.



Grafik 4. 4. VFB untuk Komposisi Fly Ash 0% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.13 dengan rumus stabilitas:

$$S = p \times q$$

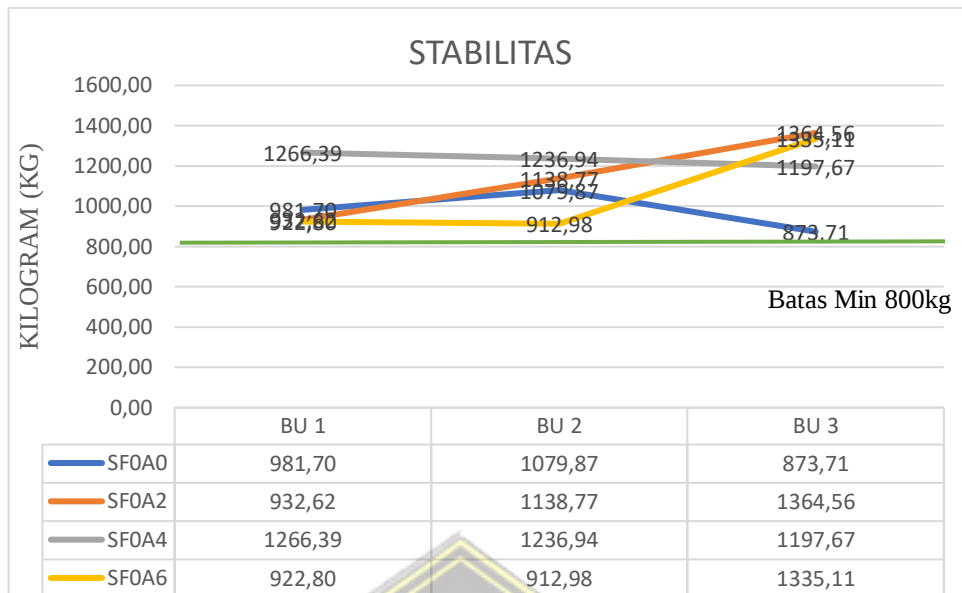
Keterangan:

S = Angka stabilitas yang sesungguhnya

p = Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

q = Angka koreksi benda uji Kelelehan (*flow*)

nilai Stabilitas yang dihasilkan campuran Fly Ash 0% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4%, dan 6% memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata stabilitas yaitu 978,43 kg, 1145,32 kg, 1233,67 kg, dan 1056,96 kg. Berdasarkan hasil yang diperoleh, nilai dari setiap benda uji sudah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga. Untuk stabilitas, nilai minimum sesuai standar Bina Marga adalah 800 kg. Dengan demikian, semua nilai stabilitas yang dihasilkan dari percobaan ini tidak hanya memenuhi, tetapi sudah cukup melampaui batas minimum yang ditentukan.



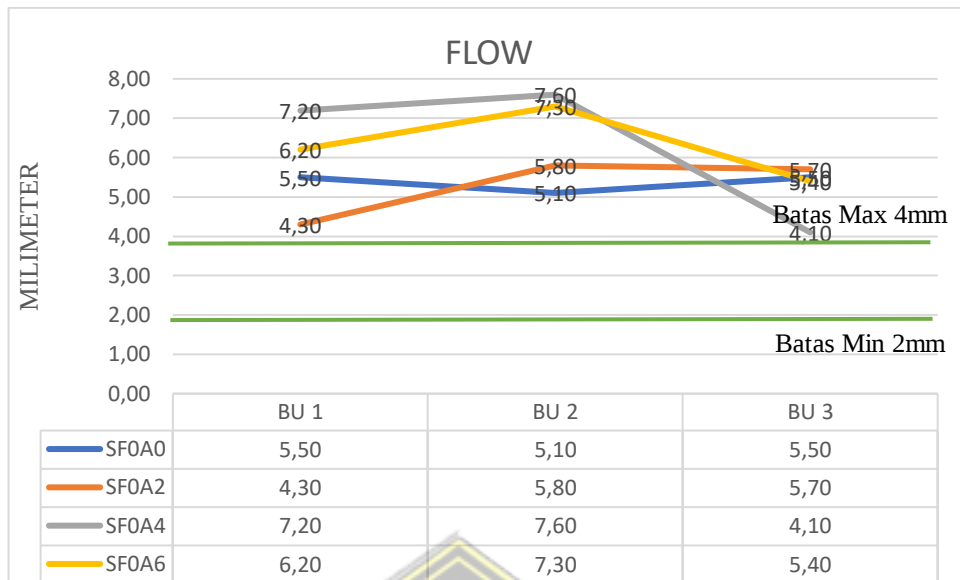
Grafik 4. 5. Stabilitas untuk Komposisi Fly Ash 0% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.14 nilai *flow* yang dihasilkan campuran *Fly Ash* 0% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4%, dan 6% tidak memenuhi spesifikasi, yang mendapatkan hasil rata-rata *flow* yaitu 5,37 milimeter, 5,27 milimeter, 6,30 milimeter, dan 6,30 milimeter. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing Sampel uji telah sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi *flow* dari Bina Marga yaitu minimum dengan angka 2,00 milimeter dan untuk nilai maksimum dengan angka 4,00 milimeter.

Berikut table jarum milimeter *flow* :

SF0A0		SF0A4	
SF0A2		SF0A6	



Grafik 4. 6. Flow untuk Komposisi Fly Ash 0% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik dengan rumus

$$MQ = \frac{MS}{MF}$$

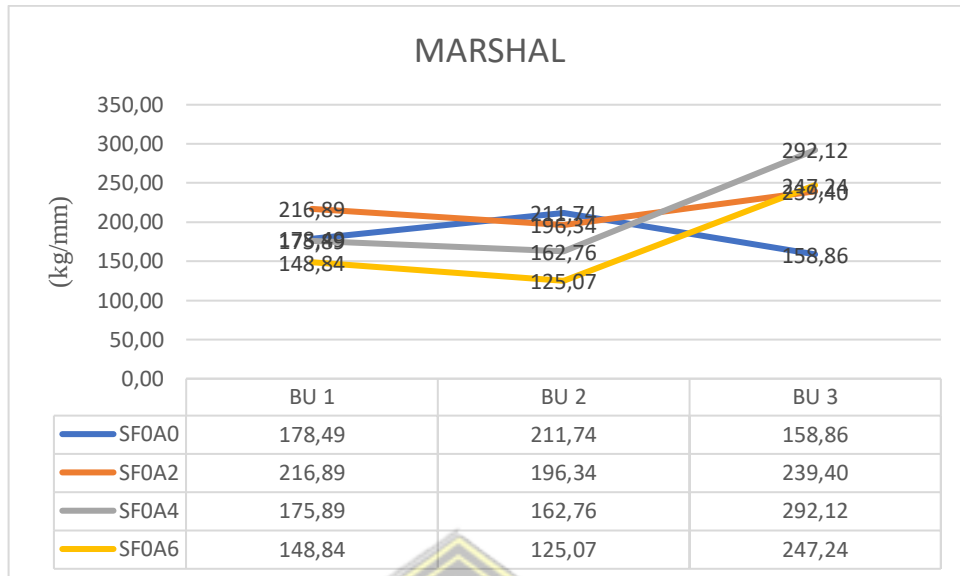
Keterangan:

MQ = Marshall Quotient (kg/mm)

MS = Marshall Stability (kg)

MF = Flow Marshall (mm)

4.15 nilai *Marshall Quotient* yang dihasilkan campuran *Fly Ash* substitusi abu batu dengan kadar 0% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4%, dan 6% memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata *Marshall Quotient* yaitu 182,32 milimeter, 217,47 milimeter, 195,82 milimeter, dan 167,77 milimeter. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi nilai *Marshall Quotient* dari Binamarga belum ada.



Grafik 4. 7. Marshall Quotient untuk Komposisi Fly Ash 0% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Hasil komposisi campuran *Fly Ash* 0% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4%, dan 6% , dalam kondisi tidak sesuai spesifikasi serta tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan yang dihasilkan dari parameter *Marshall Test* yang memperoleh hasil yang berbeda-beda, yang direpresentasikan secara rinci dalam Tabel Rekap

Tabel Rekap Hasil Rata-Rata Komposisi *Fly Ash* 0% dengan *Abu Sekam* 0%, 2%, 4%, dan 6%

Uraian	Kadar Bahan Tambah <i>Fly Ash</i>	Kadar Bahan Tambah <i>Abu Sekam</i>	Spesifikasi	Hasil Pengujian Laboratorium	Keterangan
Rongga Udara (VIM)	0%	0%	3,0 - 5,0 %	-42,21	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	0%	0%	Min 15%	19,95	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	0%	0%	Min 65%	312,11	Memenuhi
Stabilitas	0%	0%	Min 800 kg	978,43	Memenuhi
Kelelahan Plastis / Flow	0%	0%	2,0 - 4,0	5,37	Tidak Memenuhi
Marshall Quotient	0%	0%	-	182,32	Memenuhi
Rongga Udara (VIM)	0%	2%	3,0 - 5,0 %	-5,55	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	0%	2%	Min 15%	21,85	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	0%	2%	Min 65%	127,86	Memenuhi
Stabilitas	0%	2%	Min 800 kg	1145,32	Memenuhi
Kelelahan Plastis / Flow	0%	2%	2,0 - 4,0	5,27	Tidak Memenuhi
Marshall Quotient	0%	2%	-	217,47	Memenuhi
Rongga Udara (VIM)	0%	4%	3,0 - 5,0 %	-6,41	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	0%	4%	Min 15%	22,40	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	0%	4%	Min 65%	128,85	Memenuhi
Stabilitas	0%	4%	Min 800 kg	1233,67	Memenuhi
Kelelahan Plastis / Flow	0%	4%	2,0 - 4,0	6,30	Tidak Memenuhi
Marshall Quotient	0%	4%	-	195,82	Memenuhi
Rongga Udara (VIM)	0%	6%	3,0 - 5,0 %	3,65	Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	0%	6%	Min 15%	25,21	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	0%	6%	Min 65%	85,82	Memenuhi
Stabilitas	0%	6%	Min 800 kg	1056,96	Memenuhi
Kelelahan Plastis / Flow	0%	6%	2,0 - 4,0	6,30	Tidak Memenuhi
Marshall Quotient	0%	6%	-	195,82	Memenuhi

4.7.2. Hasil *Marshall Test* Benda Uji Kombinasi *Fly Ash* 1% Dengan *Abu Sekam* 0%, 2%, 4%, dan 6%

Hasil pengujian *marshall* untuk benda uji dengan komposisi modifikasi *Fly Ash* kadar 1% dengan *Abu Sekam* kadar 0%, 2%, 4% dan 6% dengan jumlah tiga benda uji setiap komposisi. Nilai *Marshall* yang diperoleh dari masing-masing komposisi dapat dilihat secara rinci pada Tabel 4.22. Tabel ini menyajikan informasi penting mengenai parameter-parameter seperti VMA, VIM, VFB, stabilitas, *flow*, dan nilai

Marshall Quotient, yang merupakan indikator kunci dalam mengevaluasi performa campuran.

Tabel 4. 18. Hasil Marshall Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

BJ Aspal (T) : 1,035		BJ Efektif Total Agregat (Gse) : 2,629				BJ Total Agg (Gsb) : 2,749		Kalibrasi Proving Ring : 9,817 Kg						
no	kadar	berat	berat	berat	volume/	bj. Bulk	bj. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		kelelahan	hasil bagi
benda	aspal	di udara	dlm air	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	plastis	marshall
uji							camp. Agg	agg.(vma)	camp(vim)	aspal(vfb)	arloji	sesuaikan	(flow)	(mq)
	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
	% berat	data	data	data				100 -	100 -	100(i-j)				
	total	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	(100 - b)g	(100*g)	i				m / n
	campuran						gsb	h						
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
SF1A0 BU 1	5,8	1135,6	652,0	1141,2	489,2	2,321	1,739	20,45	-33,48	263,67	104	1020,97	6,60	154,69
SF1A0 BU 2	5,8	1139,6	657,0	1144,4	487,4	2,338	1,739	19,88	-34,44	273,25	109	1070,05	7,30	146,58
SF1A0 BU 3	5,8	1120,8	707,4	1222,6	515,2	2,175	1,739	25,45	-25,09	198,57	155	1521,64	6,30	241,53
Rata-rata	5,8					2,278	1,739	21,93	-31,00	245,16	122,67	1204,22	6,73	178,84
SF1A2 BU 1	5,8	1148,8	658,0	1155,6	497,6	2,309	2,222	20,89	-3,89	118,63	155	1521,64	8,10	187,86
SF1A2 BU 2	5,8	1208,0	690,2	1213,4	523,2	2,309	2,222	20,88	-3,90	118,67	140	1374,38	6,40	214,75
SF1A2 BU 3	5,8	1269,4	731,0	1268,4	537,4	2,362	2,222	19,06	-6,30	133,03	270	2650,59	8,40	315,55
Rata-rata	5,8					2,327	2,222	20,28	-4,69	123,44	188,33	1848,87	7,63	242,21
SF1A4 BU 1	5,8	1173,8	696,4	1221,4	525,0	2,236	1,671	23,39	-33,79	244,48	100	981,70	4,00	245,43
SF1A4 BU 2	5,8	1151,4	631,6	1163,4	531,8	2,165	1,671	25,81	-29,56	214,52	51	500,67	5,50	91,03
SF1A4 BU 3	5,8	1218,6	665,4	1178,0	512,6	2,377	1,671	18,54	-42,25	327,94	250	2454,25	7,20	340,87
Rata-rata	5,8					2,259	1,671	22,58	-35,20	262,32	133,67	1312,21	5,57	235,73
SF1A6 BU 1	5,8	1178,4	663,2	1190,0	526,8	2,237	2,206	23,35	-1,41	106,02	90	883,53	7,30	121,03
SF1A6 BU 2	5,8	1192,8	652,8	1151,8	499,0	2,390	2,206	18,09	-8,36	146,24	123	1207,49	7,60	158,88
SF1A6 BU 3	5,8	1145,0	645,6	1180,8	535,2	2,139	2,206	26,69	3,01	88,71	270	2650,59	5,70	465,02
Rata-rata	5,8					2,256	2,206	22,71	-2,25	113,66	161,00	1580,54	6,87	230,18

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Dari Tabel 4.22 dengan rumus:

$$VIM = \left(100 \times \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) \%$$

Keterangan:

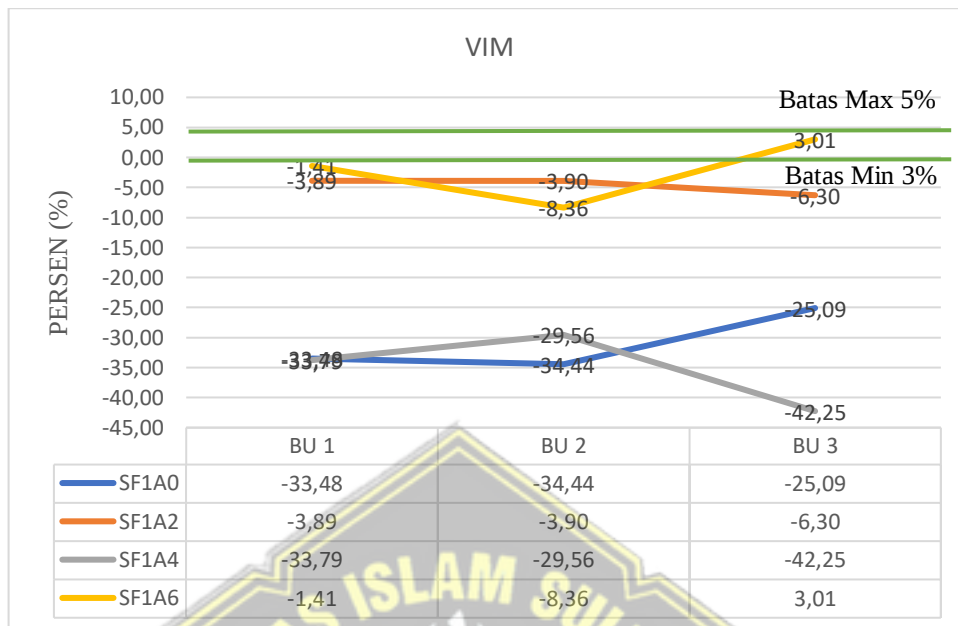
VIM = Setelah pemadatan, rongga udara pada campuran diambil dari persentase volume total (%)

Gmm = Berat jenis campuran *max* teoritis setelah pemadatan (gr/cm³)

Gmb = Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cm³)

diperoleh nilai hasil dari parameter *Marshall Test* mendapatkan hasil yang bervariasi sesuai dengan campuran *Fly Ash* dan Abu Sekam. Dan pada grafik 4.16 nilai VIM (*Void in Mix*) campuran *Fly Ash* kadar 1% dengan Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4%, dan 6% tidak memenuhi spesifikasi dengan hasil rata-rata Rongga Udara (VIM) adalah -31%, -4.69%, -35.2%, dan -2.25%. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji tidak memenuhi spesifikasi dari Bina Marga.

Sedangkan untuk spesifikasi dari Bina marga nilai minimum VIM (*Void in Mix*) berada pada angka 3.00% dan maksimum berada pada angka 5.00%.



Grafik 4. 8. VIM Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.17 dengan rumus:

$$VMA = \left(100 - \left[\frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{(100 + Pb)} \right] 100 \right) \%$$

VMA = Rongga udara mineral agregat, diambil dari persentase volume total (%)

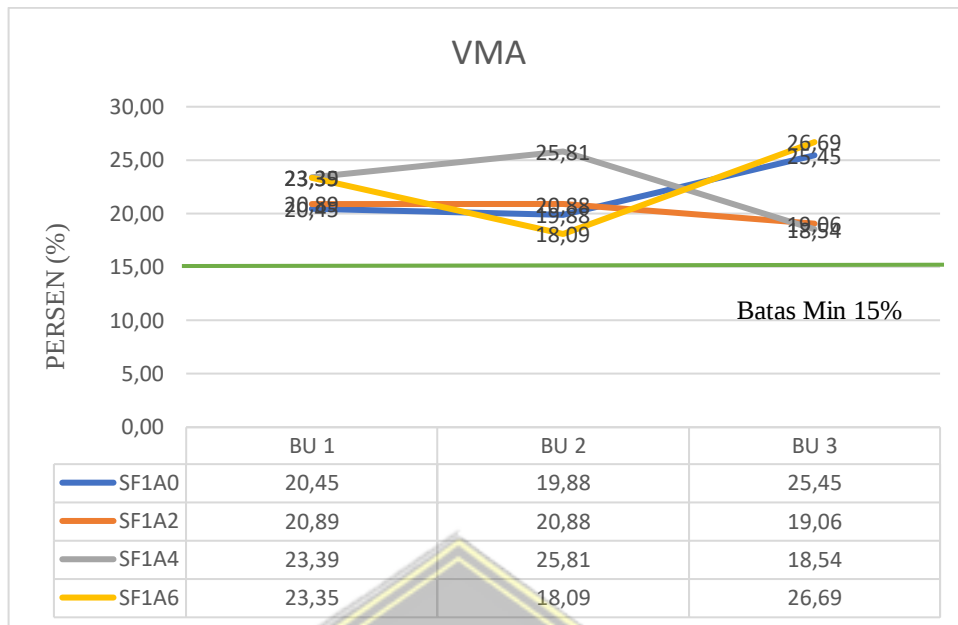
Gmb = Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cm³)

Gsb = Berat jenis *bulk* agregat (gr/cm³)

Ps = Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran (%)

Pb = KAO (%)

nilai VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) yang dihasilkan dengan bahan tambah *Fly Ash* dengan kadar 1% dan Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4%, dan 6% memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) yaitu 21,93%, 20,28%, 22,58%, dan 22,71%. Untuk nilai spesifikasi VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) dari Bina Marga yaitu minimum dengan angka 15,00%.



Grafik 4. 9. VMA untuk Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.18 dengan rumus

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

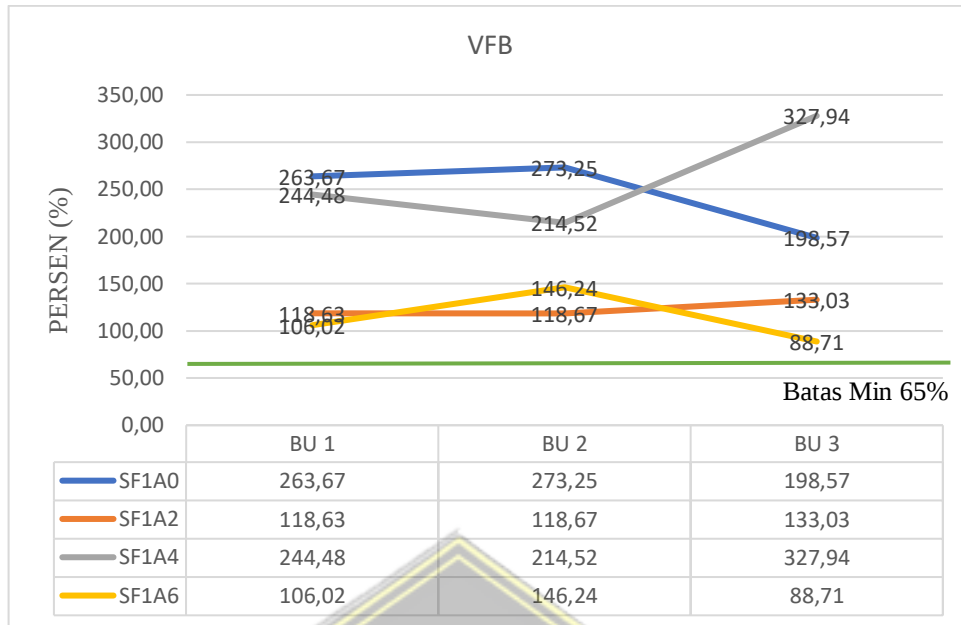
Keterangan:

VFB = Persentase volume ruang kosong dalam campuran aspal (%)

VIM = Setelah pemadatan, rongga udara pada campuran diambil dari persentase volume total (%)

VMA = Rongga udara mineral agregat, diambil dari persentase volume total (%)

nilai VFB (*Void Filled with Bitumen*) yang dihasilkan campuran *Fly Ash* dengan kadar 1% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4%, dan 6% memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata VFB (*Void Filled with Bitumen*) yaitu 245,16%, 123,44%, 262,32%, dan 113,66%. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Spesifikasi minimum untuk VFB menurut Bina Marga adalah 65%. Dengan hasil rata-rata yang jauh di atas nilai minimum tersebut.



Grafik 4. 10. VFB untuk Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.19 dengan rumus stabilitas:

$$S = p \times q$$

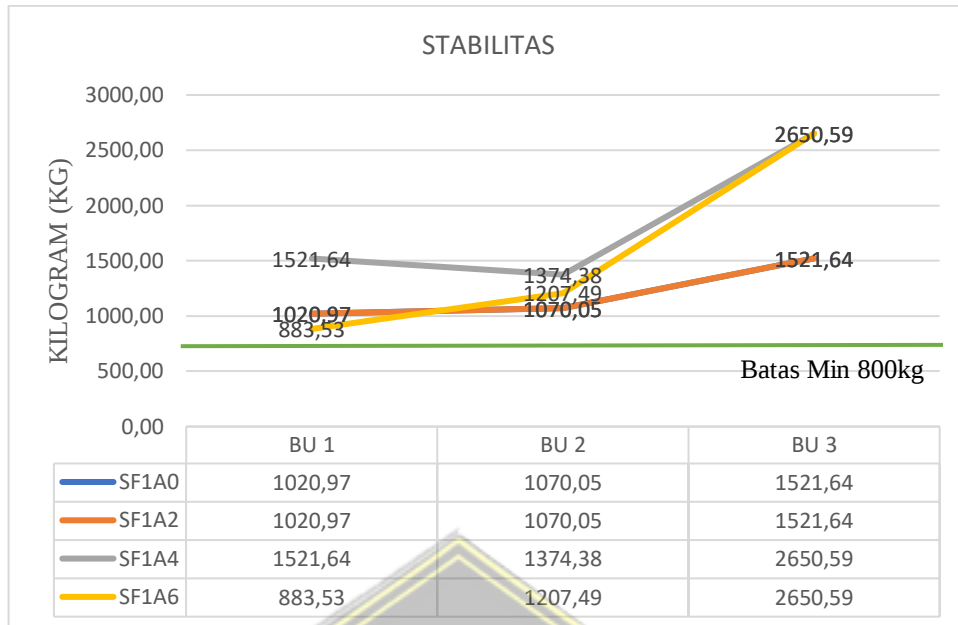
Keterangan:

S = Angka stabilitas yang sesungguhnya

p = Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

q = Angka koreksi benda uji Kelelehan (*flow*)

nilai Stabilitas yang dihasilkan campuran *Fly Ash* dengan kadar 1% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4%, dan 6% memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata stabilitas yaitu kg, 1204,22 kg, 1848,87 kg, 1312,21 kg, dan 1580,54 kg. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Adapun nilai spesifikasi minimum untuk stabilitas menurut Bina Marga adalah 800 kg. Dengan demikian, semua nilai stabilitas yang dihasilkan dari percobaan ini tidak hanya memenuhi, tetapi sudah cukup melampaui batas minimum yang ditentukan.



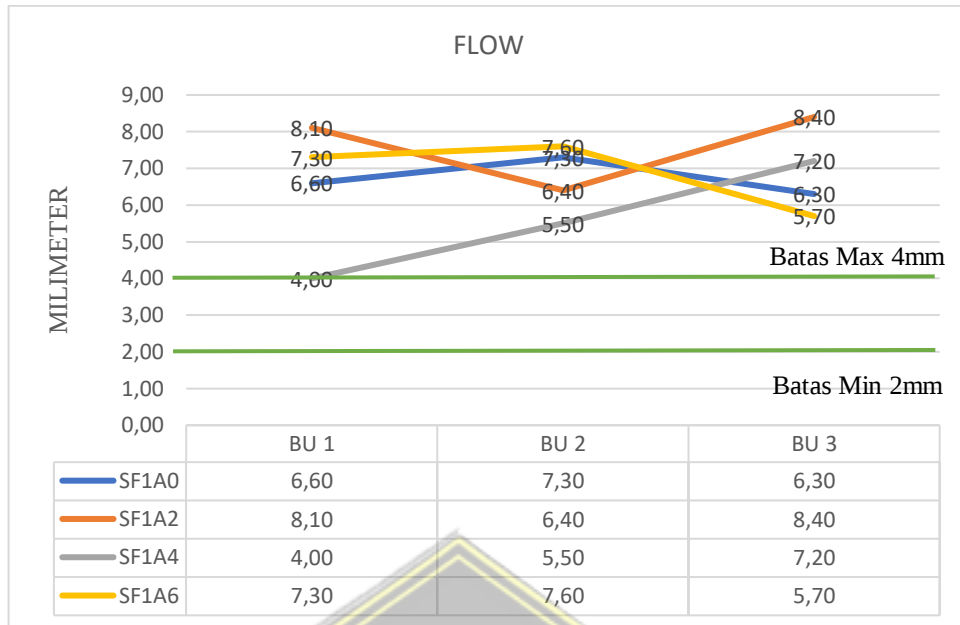
Grafik 4. 11. Stabilitas untuk Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.20 nilai *flow* yang dihasilkan campuran Fly Ash dengan kadar 1% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4% dan 6% tidak memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata *flow* yaitu 6,73 milimeter, 7,63 milimeter, 7,63 milimeter dan 6,87 milimeter. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji tidak memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi *flow* dari Bina Marga yaitu minimum dengan angka 2,00 milimeter dan untuk nilai maksimum dengan angka 4,00 milimeter.

Berikut tabel jarum milimeter *flow* :

SF1A0		SF1A4	
SF1A2		SF1A6	



Grafik 4. 12. Flow untuk Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4. 21 dengan rumus

$$MQ = \frac{MS}{MF}$$

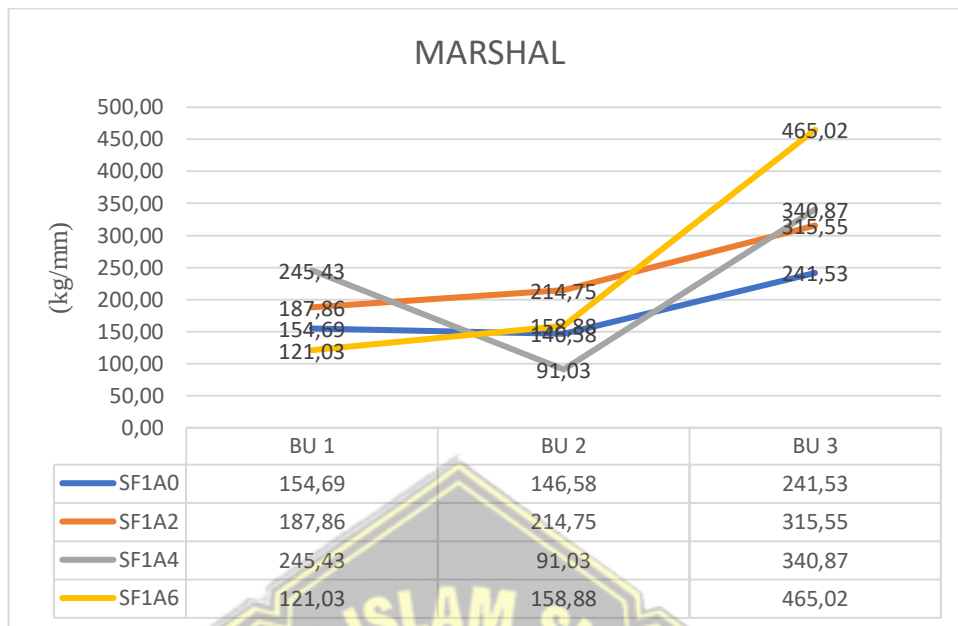
Keterangan:

MQ = Marshall Quotient (kg/mm)

MS = Marshall Stability (kg)

MF = Flow Marshall (mm)

nilai *Marshall Quotient* yang dihasilkan campuran *Fly Ash* dengan kadar 1% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4%, dan 6% memenuhi spesifikasi yang mendapatkan hasil rata-rata *Marshall Quotient* yaitu 178,84 milimeter, 242,21 milimeter, 235,73 milimeter, dan 230,18 milimeter. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi nilai *Marshall Quotient* dari Binamarga belum ada.



Grafik 4. 13. Marshall Quotient untuk Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Hasil komposisi campuran *Fly Ash* dengan kadar 1% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4%, dan 6% , Tidak memenuhi kondisi spesifikasi dan tidak layak dipakai sebagai perkerasan jalan yang dihasilkan dari parameter *Marshall Test* yang memperoleh hasil yang berbeda-beda, yang direpresentasikan secara rinci dalam Tabel 4.23. Tabel tersebut menyajikan data yang menggambarkan parameter-parameter penting seperti VMA, VIM, VFB. stabilitas, *flow*, dan nilai *Marshall Quotient*, yang semuanya merupakan indikator kunci dalam menentukan kualitas dan daya dukung campuran.

Tabel 4. 19. Rekap Hasil Rata-Rata Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Uraian	Kadar Substitusi Limbah Genteng	Kadar Bahan Tambah Serat Selulosa	Spesifikasi	Hasil Pengujian Laboratorium	Keterangan
Rongga Udara (VIM)	1%	0%	3,0 - 5,0 %	-31,00	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	1%	0%	Min 15%	21,93	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	1%	0%	Min 65%	245,16	Memenuhi
Stabilitas	1%	0%	Min 800 kg	1204,22	Memenuhi
Kelelehan Plastis / Flow	1%	0%	2,0 - 4,0	6,73	Tidak Memenuhi
Marshall Quotient	1%	0%	-	178,84	Memenuhi
Rongga Udara (VIM)	1%	2%	3,0 - 5,0 %	-4,69	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	1%	2%	Min 15%	20,28	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	1%	2%	Min 65%	123,44	Memenuhi
Stabilitas	1%	2%	Min 800 kg	1848,87	Memenuhi
Kelelehan Plastis / Flow	1%	2%	2,0 - 4,0	7,63	Tidak Memenuhi
Marshall Quotient	1%	2%	-	242,21	Memenuhi
Rongga Udara (VIM)	1%	4%	3,0 - 5,0 %	-35,20	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	1%	4%	Min 15%	22,58	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	1%	4%	Min 65%	262,32	Memenuhi
Stabilitas	1%	4%	Min 800 kg	1312,21	Memenuhi
Kelelehan Plastis / Flow	1%	4%	2,0 - 4,0	5,57	Tidak Memenuhi
Marshall Quotient	1%	4%	-	235,73	Memenuhi
Rongga Udara (VIM)	1%	6%	3,0 - 5,0 %	-2,25	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	1%	6%	Min 15%	22,27	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	1%	6%	Min 65%	113,66	Memenuhi
Stabilitas	1%	6%	Min 800 kg	1580,54	Memenuhi
Kelelehan Plastis / Flow	1%	6%	2,0 - 4,0	6,87	Tidak Memenuhi
Marshall Quotient	1%	6%	-	230,18	Memenuhi

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

4.7.3. Hasil *Marshall Test* Benda Uji Kombinasi *Fly Ash* 3% Dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Hasil pengujian *marshall* untuk benda uji dengan komposisi modifikasi *Fly Ash* tanah liat kadar 3% dengan Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4% dan 6% dengan jumlah tiga benda uji setiap komposisi. Nilai *Marshall* yang diperoleh dari masing-masing

komposisi dapat dilihat secara rinci pada Tabel 4.24. Tabel ini menyajikan informasi penting mengenai parameter-parameter seperti VMA, VIM, VFB, stabilitas, *flow*, dan nilai *Marshall Quotient*, yang merupakan indikator kunci dalam mengevaluasi performa campuran.

Tabel 4. 20. Hasil Marshall Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

BJ Aspal (T) : 1,035		BJ Efektif Total Agregat (Gse) : 2,629				BJ Total Agg (Gsb) : 2,749		Kalibrasi Proving Ring : 9,817 Kg					
no	kadar	berat	berat	berat	volume/	bj. Bulk	bj. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		
benda	aspal	di udara	dlm air	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	kelelahan
uji							camp. Agg	agg.(vma)	camp(vim)	aspal(vfb)	arloji	sesuaikan	(flow)
	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
	% berat	data	data	data				100 -	100 -	100(i-j)			
	total	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	(100 - b)g	(100*g)	i			m / n
	campuran							gsb	h				
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)
SF3A0 BU 1	5,8	1188,6	673,2	1169,8	496,6	2,393	2,140	17,98	-11,83	165,80	61	598,84	5,50
SF3A0 BU 2	5,8	1171,6	703,2	1210,2	507,0	2,311	2,140	20,81	-7,97	138,30	141	1384,20	4,50
SF3A0 BU 3	5,8	1209,6	672,8	1187,2	514,4	2,351	2,140	19,42	-9,87	150,82	96	942,43	6,70
Rata-rata	5,8					2,352	2,140	19,41	-9,89	151,64	99,33	975,16	5,57
SF3A2 BU 1	5,8	1046,2	682,0	1186,6	504,6	2,073	2,240	28,95	7,44	74,30	103	1011,15	4,80
SF3A2 BU 2	5,8	1200,4	680,0	1208,4	528,4	2,272	2,240	22,15	-1,42	106,40	163	1600,17	5,70
SF3A2 BU 3	5,8	1185,0	601,0	1043,4	442,4	2,679	2,240	8,21	-19,58	338,38	160	1570,72	4,00
Rata-rata	5,8					2,341	2,240	19,77	-4,52	173,03	142,00	1394,01	4,83
SF3A4 BU 1	5,8	1315,6	686,0	1246,0	560,0	2,349	2,338	19,50	-0,50	102,55	96	942,43	4,40
SF3A4 BU 2	5,8	1233,6	664,2	1160,2	496,0	2,487	2,338	14,77	-6,39	143,27	103	1011,15	6,50
SF3A4 BU 3	5,8	1161,6	755,6	1317,4	561,8	2,068	2,338	29,15	11,55	60,37	330	3239,61	2,70
Rata-rata	5,8					2,301	2,338	21,14	1,55	102,06	176,33	1731,06	4,53
SF3A6 BU 1	5,8	1215,8	673,8	1213,8	540,0	2,251	2,524	22,85	10,81	52,70	135	1325,30	4,60
SF3A6 BU 2	5,8	1202,8	648,8	1207,4	558,6	2,153	2,524	26,21	14,70	43,93	70	687,19	4,90
SF3A6 BU 3	5,8	1196,0	651,8	1190,0	538,2	2,222	2,524	23,85	11,97	49,83	265	2601,51	7,60
Rata-rata	5,8					2,209	2,524	24,30	12,49	48,82	156,67	1538,00	5,70

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Dari Tabel 4.24 dengan rumus:

$$VIM = \left(100 \times \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) \%$$

Keterangan:

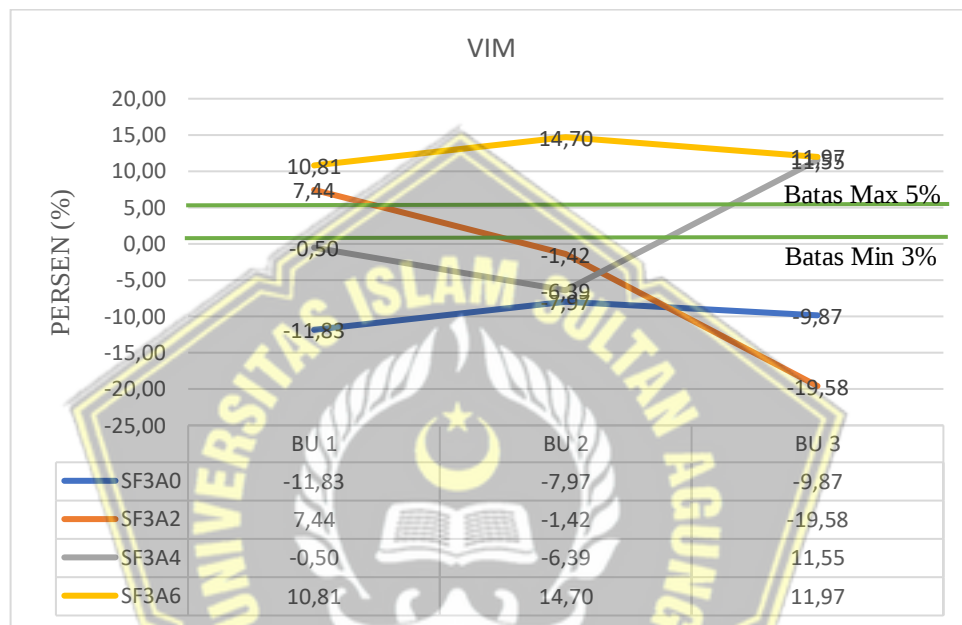
VIM = Setelah pemadatan, rongga udara pada campuran diambil dari persentase volume total (%)

Gmm = Berat jenis campuran *max* teoritis setelah pemadatan (gr/cm³)

Gmb = Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cm³)

diperoleh nilai hasil dari parameter Pengujian Marshall menghasilkan nilai yang bervariasi sesuai dengan campuran *Fly Ash* dan Abu Sekam. Dan pada grafik 4.22 nilai VIM (*Void in Mix*) yang dihasilkan campuran *Fly Ash* dengan kadar 3% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%, 4%, dan 6% tidak memenuhi

spesifikasi dengan hasil rata-rata VIM (*Void in Mix*) adalah -9,89%, -4,52%, dan 12,49%. Sedangkan campuran *Fly Ash* dengan kadar 3% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 2% memenuhi spesifikasi dengan hasil rata-rata VIM (*Void in Mix*) adalah 1,55%. Dari hasil yang didapatkan nilai dari benda uji campuran *Fly Ash* 3% dan Abu Sekam 2% saja yang memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Sedangkan untuk spesifikasi dari Bina marga nilai minimum VIM (*Void in Mix*) berada pada angka 3.00% dan maksimum berada pada angka 5.00%.



Grafik 4. 14. VIM Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6% .

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.23 dengan rumus:

$$VMA = \left(100 - \left[\frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{(100 + Pb)} 100 \right] \right) \%$$

VMA = Rongga udara mineral agregat, diambil dari persentase volume total (%)

Gmb = Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cm³)

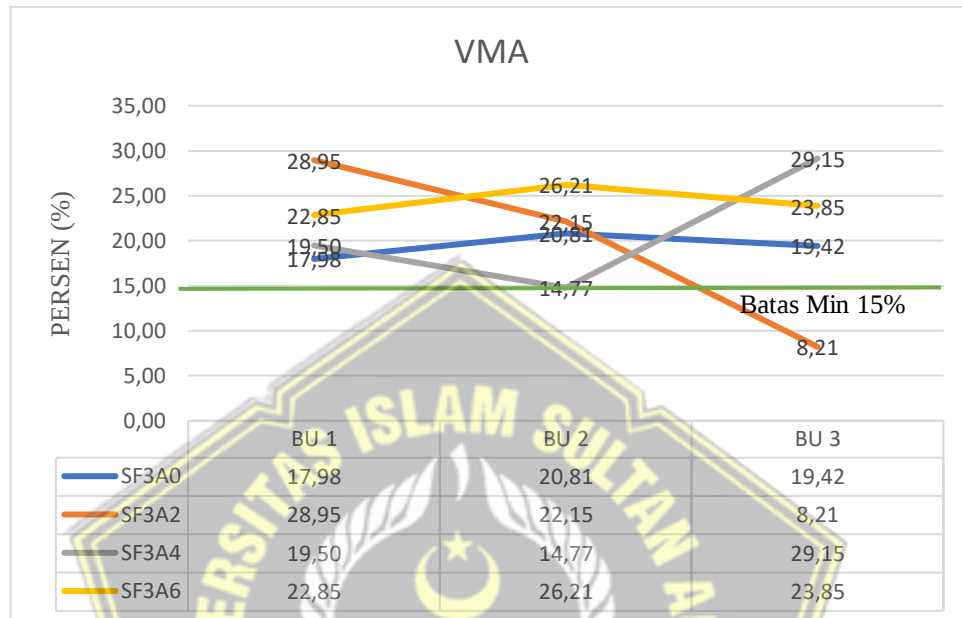
Gsb = Berat jenis *bulk* agregat (gr/cm³)

Ps = Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran (%)

Pb = KAO (%)

nilai VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) yang dihasilkan campuran *Fly Ash* dengan kadar 4% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4%, dan 6%

memenuhi spesifikasi dengan hasil rata-rata VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) yaitu 19,41%, 19,77%, 21,14%, dan 24,30%. Hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) dari Bina Marga yaitu minimum dengan angka 15,00%.



Grafik 4. 15. VMA untuk Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.24 dengan rumus

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

Keterangan:

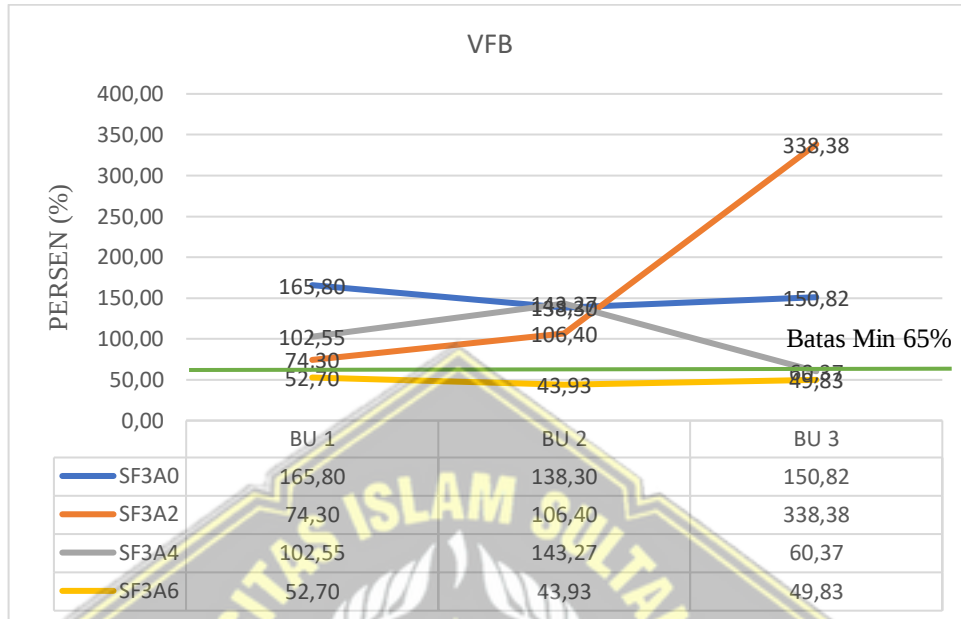
VFB = Persentase volume ruang kosong dalam campuran aspal (%)

VIM = Setelah pemadatan, rongga udara pada campuran diambil dari persentase volume total (%)

VMA = Rongga udara mineral agregat, diambil dari persentase volume total (%)

nilai VFB (*Void Filled with Bitumen*) yang dihasilkan campuran *Fly Ash* dengan kadar 3% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%, 2%, dan 4%, memenuhi spesifikasi dengan hasil rata-rata VFB (*Void Filled with Bitumen*) yaitu 151,64%, 173,03%, dan 102,06%, pada kadar 6% dengan hasil 48,82% tidak memenuhi

spesifikasi Bina Marga. Spesifikasi minimum untuk VFB menurut Bina Marga adalah 65%. Dengan hasil rata-rata yang jauh di atas nilai minimum tersebut.



Grafik 4. 16. VFB untuk Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.25 dengan rumus

$$S = p \times q$$

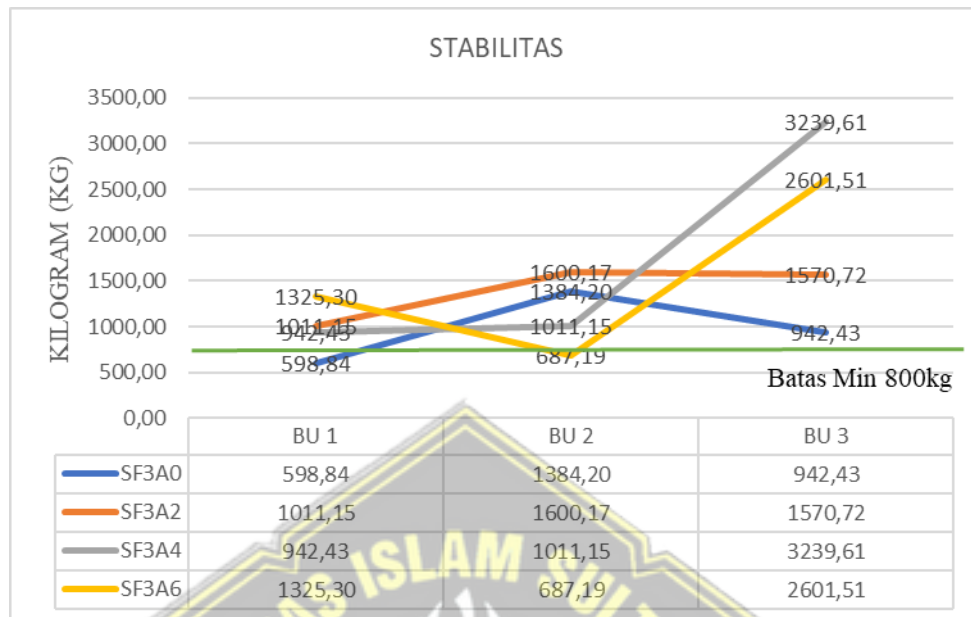
Keterangan:

S = Angka stabilitas yang sesungguhnya

p = Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

q = Angka koreksi benda uji Kelelehan (*flow*)

nilai Stabilitas yang dihasilkan campuran *Fly Ash* 3% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4%, dan 6% memenuhi spesifikasi dengan hasil rata-rata stabilitas yaitu 975,16 kg, 1394,01 kg, 1731,06 kg, dan kg. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Adapun nilai spesifikasi minimum untuk stabilitas menurut Bina Marga adalah 800 kg. Dengan demikian, semua nilai stabilitas yang dihasilkan dari percobaan ini tidak hanya memenuhi, tetapi sudah cukup melampaui batas minimum yang ditentukan.



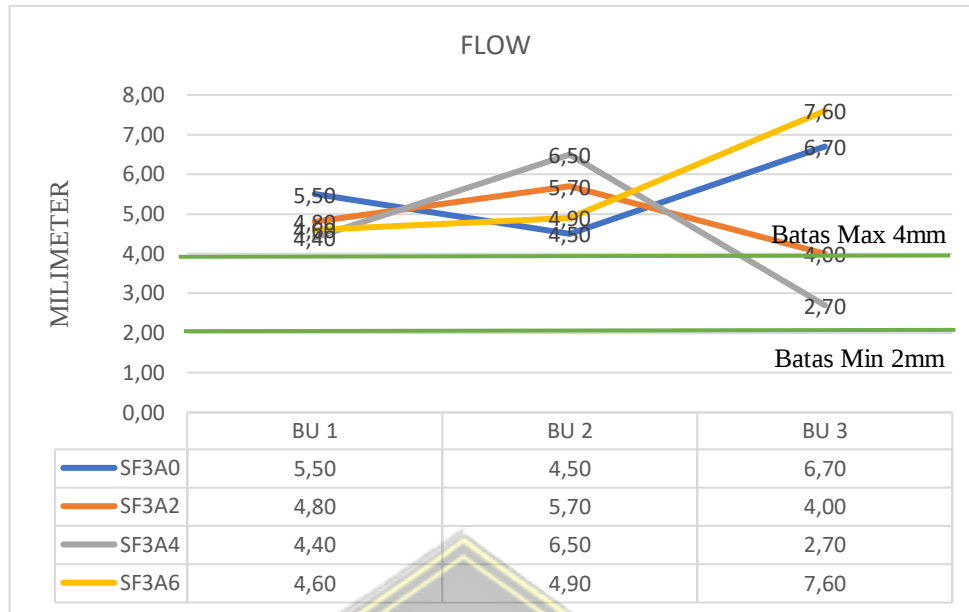
Grafik 4. 17. Stabilitas untuk Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.26 nilai *flow* yang dihasilkan campuran *Fly Ash* substitusi abu batu dengan kadar 3% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4%, dan 6% tidak memenuhi spesifikasi dengan hasil rata-rata *flow* yaitu 5,57 milimeter, 4,83 milimeter, 4,53 milimeter, dan 5.70 milimeter. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji tidak memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Guna nilai spesifikasi *flow* dari Bina Marga yaitu minimum dengan angka 2,00 milimeter dan untuk nilai maksimum dengan angka 4,00 milimeter.

Berikut tabel jarum milimeter flow :

SF3A0		SF3A4	
SF3A2		SF3A6	



Grafik 4. 18. Flow untuk Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.26 dengan rumus

$$MQ = \frac{MS}{MF}$$

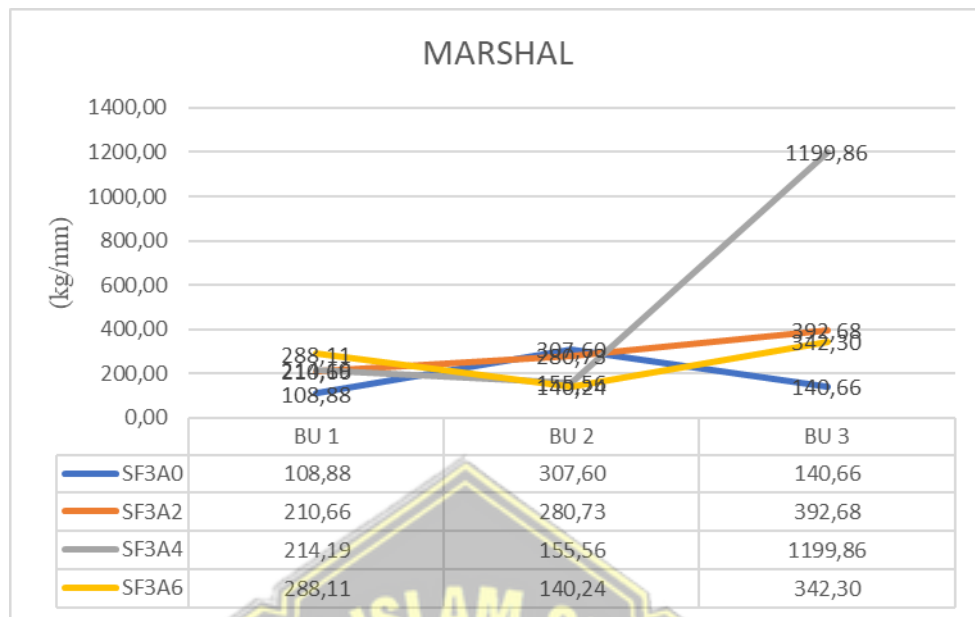
Keterangan:

MQ = Marshall Quotient (kg/mm)

MS = Marshall Stability (kg)

MF = Flow Marshall (mm)

nilai *Marshall Quotient* yang dihasilkan campuran *Fly Ash* substitusi abu batu dengan kadar 3% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4%, dan 6% memenuhi spesifikasi dengan hasil rata-rata *Marshall Quotient* yaitu 175,18 milimeter, 288,42 milimeter, 381,85 milimeter, dan 269,82 milimeter. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi nilai *Marshall Quotient* dari Binamarga belum ada.



Grafik 4. 19. Marshall Quotient untuk Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Hasil komposisi campuran *Fly Ash* dengan kadar 3% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%, 2%, dan 4%, dan 6% dalam kondisi tidak memenuhi spesifikasi namun tidak layak digunakan sebagai perkerasan jalan. dari hasil parameter *Marshall Test* yang memperoleh hasil yang berbeda-beda, yang direpresentasikan secara rinci dalam Tabel 4.25. Tabel tersebut menyajikan data yang menggambarkan parameter-parameter penting seperti VMA, VIM, VFB. stabilitas, *flow*, dan nilai *Marshall Quotient*, yang semuanya merupakan indikator kunci dalam menentukan kualitas dan daya dukung campuran.

Tabel 4. 21. Rekap Hasil Rata-Rata Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Uraian	Kadar Bahan Tambah Fly Ash	Kadar Bahan Tambah Abu Sekam	Spesifikasi	Hasil Pengujian Laboratorium	Keterangan
Rongga Udara (VIM)	3%	0%	3,0 - 5,0 %	-9,89	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	3%	0%	Min 15%	19,41	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	3%	0%	Min 65%	151,64	Memenuhi
Stabilitas	3%	0%	Min 800 kg	975,16	Memenuhi
Kelelehan Plastis / Flow	3%	0%	2,0 - 4,0	5,57	Tidak Memenuhi
Marshall Quotient	3%	0%	-	175,18	Memenuhi
	3%				
Rongga Udara (VIM)	3%	2%	3,0 - 5,0 %	-4,52	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	3%	2%	Min 15%	19,77	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	3%	2%	Min 65%	173,03	Memenuhi
Stabilitas	3%	2%	Min 800 kg	1394,01	Memenuhi
Kelelehan Plastis / Flow	3%	2%	2,0 - 4,0	4,83	Tidak Memenuhi
Marshall Quotient	3%	2%	-	288,42	Memenuhi
	3%				
Rongga Udara (VIM)	3%	4%	3,0 - 5,0 %	1,55	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	3%	4%	Min 15%	21,14	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	3%	4%	Min 65%	102,06	Memenuhi
Stabilitas	3%	4%	Min 800 kg	1731,06	Memenuhi
Kelelehan Plastis / Flow	3%	4%	2,0 - 4,0	4,53	Tidak Memenuhi
Marshall Quotient	3%	4%	-	381,85	Memenuhi
	3%				
Rongga Udara (VIM)	3%	6%	3,0 - 5,0 %	12,49	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	3%	6%	Min 15%	24,30	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	3%	6%	Min 65%	48,82	Tidak Memenuhi
Stabilitas	3%	6%	Min 800 kg	1538,00	Memenuhi
Kelelehan Plastis / Flow	3%	6%	2,0 - 4,0	5,70	Tidak Memenuhi
Marshall Quotient	3%	6%	-	269,82	Memenuhi

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

4.7.4. Hasil *Marshall Test* Benda Uji Kombinasi *Fly Ash* 5% Dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Hasil pengujian *marshall* untuk benda uji dengan komposisi modifikasi *Fly Ash* tanah liat kadar 5% dengan Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4% dan 6% dengan jumlah tiga benda uji setiap komposisi. Nilai *Marshall* yang diperoleh dari masing-masing komposisi dapat dilihat dengan rinci pada Tabel 4.26. Tabel ini menampilkan data penting terkait parameter seperti VMA, VIM, VFB, stabilitas, flow, dan Marshall Quotient, yang menjadi indikator utama dalam menilai kinerja campuran.

Tabel 4. 22. Hasil Marshall Komposisi Fly Ash 5% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

BJ Aspal (T) : 1,035		BJ Efektif Total Agregat (Gse) : 2,629				BJ Total Agg (Gsb) : 2,749			Kalibrasi Proving Ring : 9,817 Kg					
no benda uji	kadar aspal	berat di udara	berat dlm 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	kelelahan di plastis (flow)	hasil bagi marshall (mq)	
	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
	% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	c / f	GMM	100 - (100 - b)g gsb	100 - (100 * g)h	100(i-j) i				m / n
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
SF5A0 BU 1	5,8	1176,8	675,0	1179,0	504,0	2,335	2,232	19,99	-4,60	123,03	96	942,43	6,60	142,79
SF5A0 BU 2	5,8	1168,4	690,6	1188,8	498,2	2,345	2,232	19,64	-5,07	125,80	93	912,98	7,50	121,73
SF5A0 BU 3	5,8	1185,2	685,4	1177,6	492,2	2,408	2,232	17,49	-7,88	145,05	211	2071,39	4,20	493,19
Rata-rata	5,8					2,363	2,232	19,04	-5,85	131,29	133,33	1308,93	6,10	214,58
SF5A2 BU 1	5,8	1208,0	708,0	1241,4	533,4	2,265	2,137	22,39	-5,98	126,70	160	1570,72	5,20	302,06
SF5A2 BU 2	5,8	1178,6	686,6	1183,0	496,4	2,374	2,137	18,64	-11,11	159,59	135	1325,30	6,40	207,08
SF5A2 BU 3	5,8	1233,8	690,8	1212,4	521,6	2,365	2,137	18,94	-10,69	156,44	220	2159,74	7,50	287,97
Rata-rata	5,8					2,335	2,137	19,99	-9,26	147,58	171,67	1685,25	6,37	264,70
SF5A4 BU 1	5,8	1225,4	693,4	1228,2	534,8	2,291	2,032	21,48	-12,77	159,44	141	1384,20	6,60	209,73
SF5A4 BU 2	5,8	1248,2	695,4	1253,4	558,0	2,237	2,032	23,35	-10,09	143,22	125	1227,13	7,50	163,62
SF5A4 BU 3	5,8	1249,6	697,8	1253,0	555,2	2,251	2,032	22,87	-10,77	147,09	224	2199,01	6,40	343,60
Rata-rata	5,8					2,260	2,032	22,57	-11,21	149,92	163,33	1603,44	6,83	234,65
SF5A6 BU 1	5,8	1226,4	673,0	1231,2	558,2	2,197	2,092	24,71	-5,02	120,31	155	1521,64	6,50	234,10
SF5A6 BU 2	5,8	1231,2	725,6	1294,8	569,2	2,163	2,092	25,88	-3,39	113,11	151	1482,37	8,50	174,40
SF5A6 BU 3	5,8	1291,6	676,8	1235,0	558,2	2,314	2,092	20,71	-10,60	151,19	345	3386,87	5,60	604,80
Rata-rata	5,8					2,225	2,092	23,77	-6,34	128,21	217,00	2130,29	6,87	310,24

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Dari Tabel 4.26 dengan rumus:

$$VIM = \left(100 \times \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) \%$$

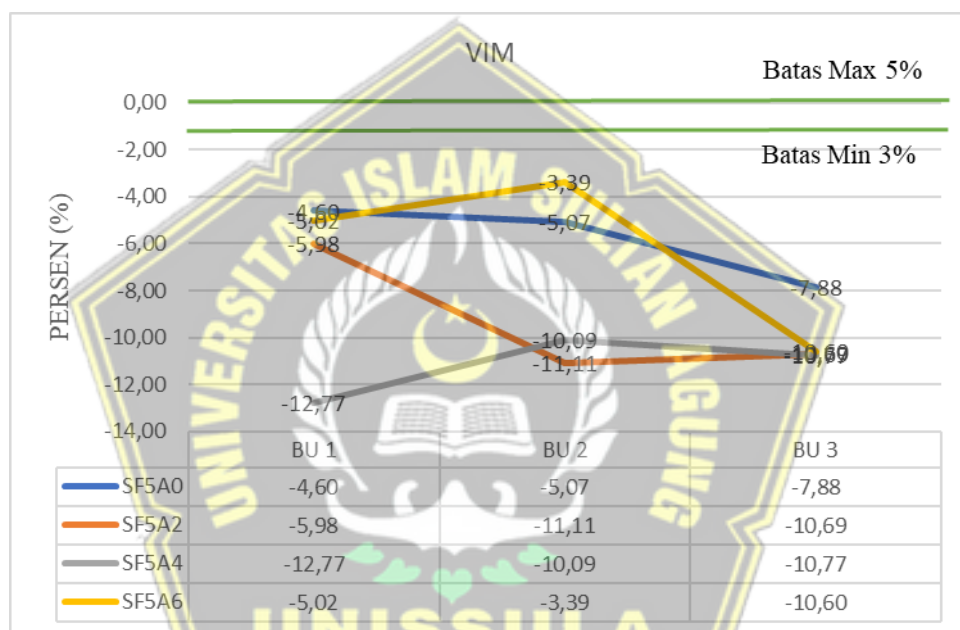
Keterangan:

VIM = Setelah pemadatan, rongga udara pada campuran diambil dari persentase volume total (%)

Gmm = Berat jenis campuran *max* teoritis setelah pemadatan (gr/cm³)

Gmb = Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cm³)

diperoleh nilai hasil dari parameter Pengujian *Marshall* menunjukkan hasil yang bervariasi sesuai dengan campuran *Fly Ash* dan Abu Sekam. Dan pada grafik 4.28 nilai VIM (*Void in Mix*) yang dihasilkan campuran *Fly Ash* dengan kadar 5% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4%, 6% tidak memenuhi spesifikasi dengan hasil rata-rata VIM (*Void in Mix*) adalah -5,85%, -9,26%, -11,21% dan -6,34%. Berdasarkan hasil yang diperoleh, nilai dari setiap benda uji belum memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga. Sedangkan untuk spesifikasi dari Bina marga nilai minimum VIM (*Void in Mix*) berada pada angka 3.00% dan maksimum berada pada angka 5.00%.



Grafik 4. 20. VIM Komposisi Fly Ash 5% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.28 dengan rumus:

$$VMA = \left(100 - \left[\frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{(100 + Pb)} \right] 100 \right) \%$$

VMA = Rongga udara mineral agregat, diambil dari persentase volume total (%)

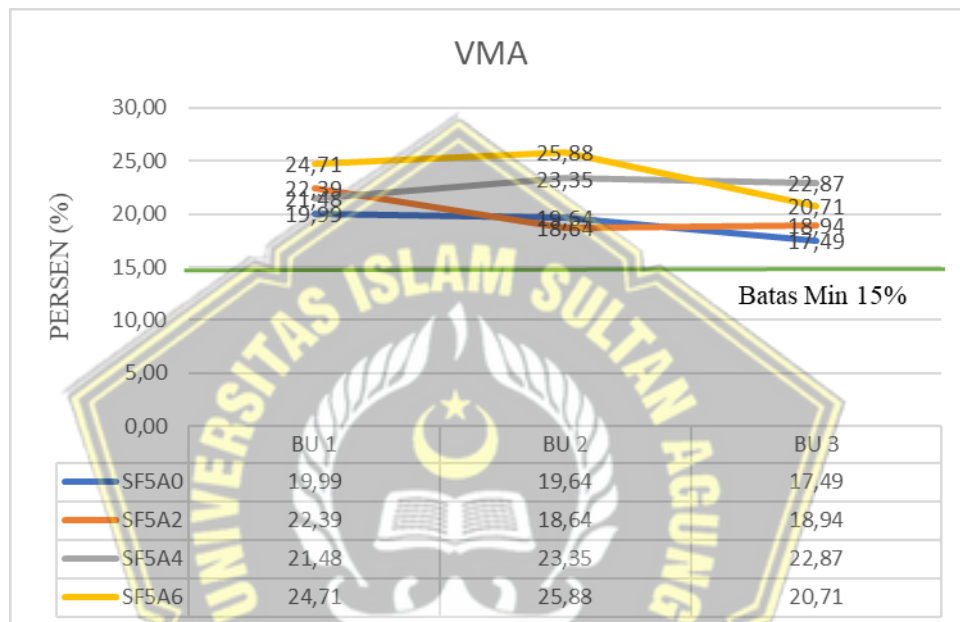
Gmb = Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cm³)

Gsb = Berat jenis *bulk* agregat (gr/cm³)

Ps = Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran (%)

Pb = KAO (%)

nilai VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) yang dihasilkan campuran *Fly Ash* dengan kadar 5% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4%, dan 6% memenuhi spesifikasi dengan hasil rata-rata VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) yaitu 19,04%, 19,99%, 22,57%, dan 23,77%. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) dari Bina Marga yaitu minimum dengan angka 15,00%.



Grafik 4. 21. VMA untuk Komposisi Fly Ash 5% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.30 dengan rumus

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

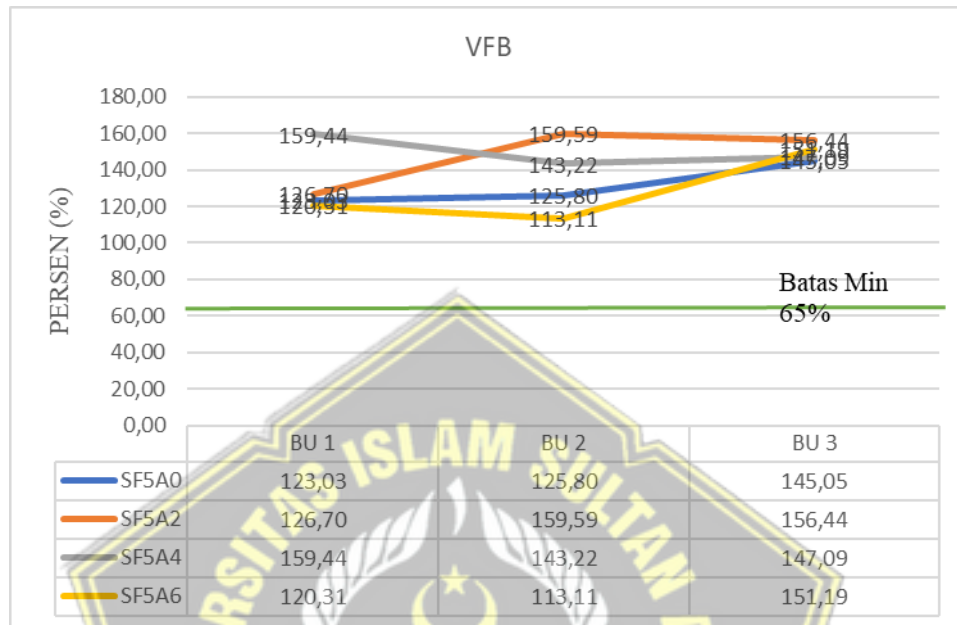
Keterangan:

VFB = Persentase volume ruang kosong dalam campuran aspal (%)

VIM = Setelah pemadatan, rongga udara pada campuran diambil dari persentase volume total (%)

VMA = Rongga udara mineral agregat, diambil dari persentase volume total (%) nilai VFB (*Void Filled with Bitumen*) yang dihasilkan campuran *Fly Ash* substitusi abu batu dengan kadar 5% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%,

2%, 4% dan 6% memenuhi spesifikasi dengan hasil rata-rata VFB (*Void Filled with Bitumen*) yaitu 131,29%, 147,58%, 149,92%, dan 128,21%. Spesifikasi minimum untuk VFB menurut Bina Marga adalah 65%. Dengan hasil rata-rata yang jauh di atas nilai minimum tersebut.



Grafik 4. 22. VFB untuk Komposisi Fly Ash 5% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.31 dengan rumus

$$S = p \times q$$

Keterangan:

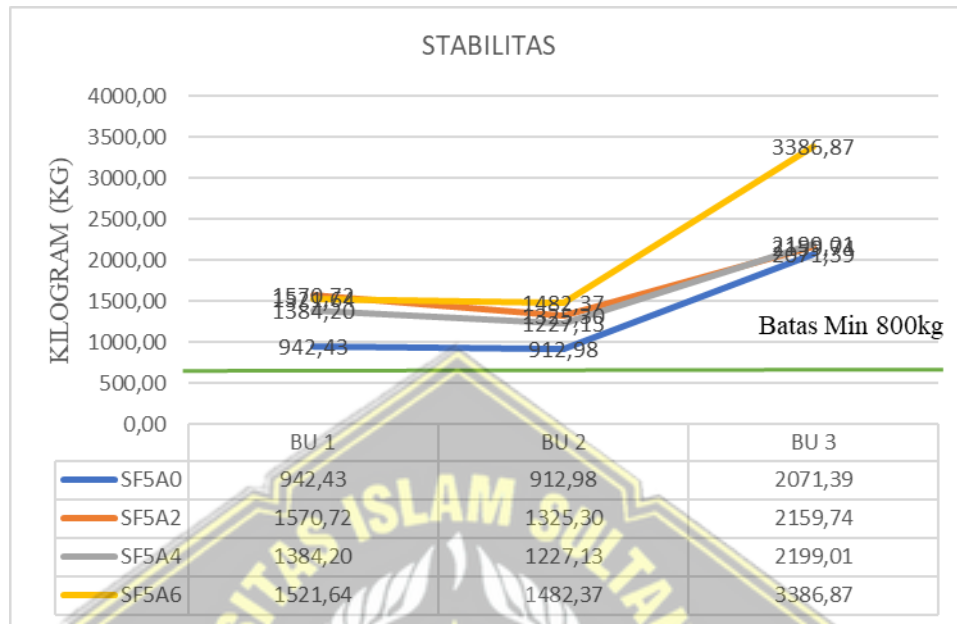
S = Angka stabilitas yang sesungguhnya

p = Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

q = Angka koreksi benda uji Kelelahan (*flow*)

nilai Stabilitas yang dihasilkan campuran *Fly Ash* substitusi abu batu dengan kadar 5% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4%, dan 6% memenuhi spesifikasi dengan hasil rata-rata stabilitas yaitu 1308,93 kg, 1685,25 kg, 1603,44 kg, dan 2130,29 kg. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Adapun nilai spesifikasi minimum untuk stabilitas menurut Bina Marga adalah 800 kg. Dengan demikian, semua nilai

stabilitas yang dihasilkan dari percobaan ini tidak hanya memenuhi, tetapi sudah cukup melampaui batas minimum yang ditentukan.



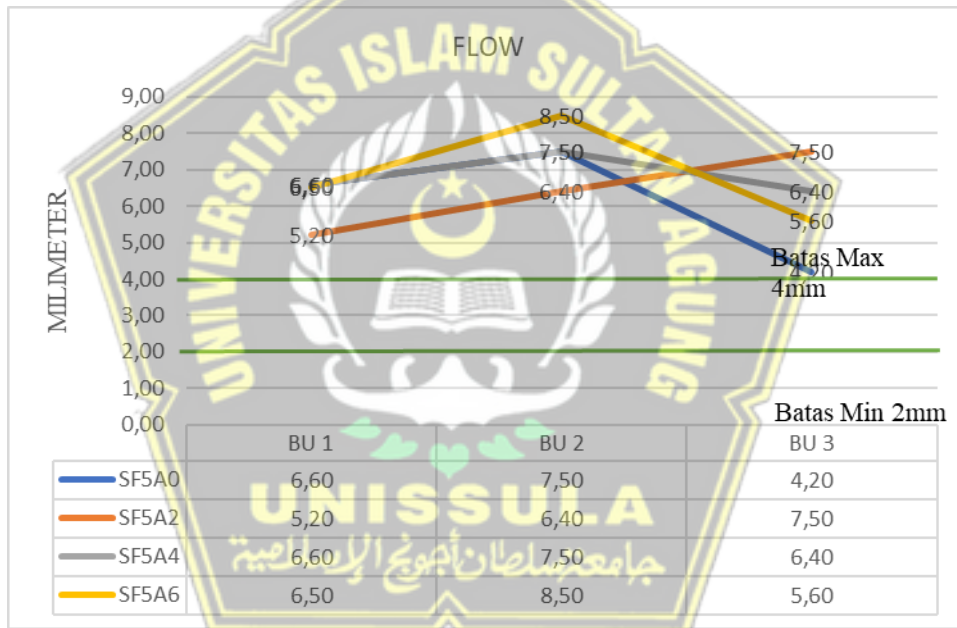
Grafik 4. 23. Stabilitas untuk Komposisi Fly Ash 5% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.32 nilai *flow* yang dihasilkan campuran *Fly Ash* substitusi abu batu dengan kadar 5% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4%, dan 6% memenuhi spesifikasi dengan hasil rata-rata *flow* yaitu 6,10 milimeter, 6,37 milimeter, 6,83 milimeter, dan 6,87 milimeter. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji tidak memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi *flow* dari Bina Marga yaitu minimum dengan angka 2,00 milimeter dan untuk nilai maksimum dengan angka 4,00 milimeter.

Berikut tabel jarum milimeter flow :

SF5A0		SF5A4	
SF5A2		SF5A6	



Grafik 4. 24. Flow untuk Komposisi Fly Ash 5% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.33 dengan rumus

$$MQ = \frac{MS}{MF}$$

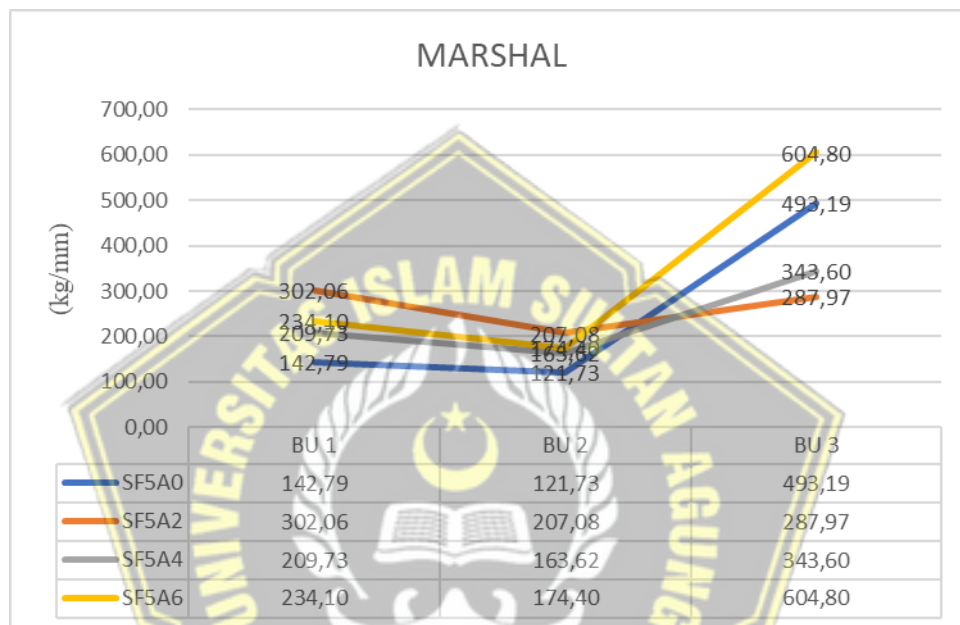
Keterangan:

MQ = Marshall Quotient (kg/mm)

MS = Marshall Stability (kg)

MF = Flow Marshall (mm)

nilai *Marshall Quotient* yang dihasilkan campuran *Fly Ash* substitusi abu batu dengan kadar 5% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4%, dan 6% memenuhi spesifikasi dengan hasil rata-rata *Marshall Quotient* yaitu 214,58 milimeter, 264,70 milimeter, 234,65 milimeter, dan 310,24 milimeter. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi nilai *Marshall Quotient* dari Binamarga belum ada.



Grafik 4. 25. Pengujian Gradasi *Aggregate Hot Bin II*

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Hasil komposisi campuran *Fly Ash* dengan kadar 5% dengan bahan tambah Abu Sekam kadar 0%, 2%, 4% dan 6% dalam kondisi tidak sesuai spesifikasi dan juga tidak bisa digunakan sebagai perkerasan suatu jalan. dari hasil parameter *Marshall Test* yang memperoleh hasil yang berbeda-beda, yang direpresentasikan secara rinci dalam Tabel 4.27. Tabel tersebut menyajikan data yang menggambarkan parameter-parameter penting seperti VMA, VIM, VFB. stabilitas, *flow*, dan nilai *Marshall Quotient*, yang semuanya merupakan indikator kunci dalam menentukan kualitas dan daya dukung campuran.

Tabel 4. 23. Rekap Hasil Rata-Rata Komposisi Fly Ash 5% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Uraian	Kadar Substitusi Limbah Genteng	Kadar Bahan Tambah Serat Selulosa	Spesifikasi	Hasil Pengujian Laboratorium	Keterangan
Rongga Udara (VIM)	5%	0%	3,0 - 5,0 %	-5,85	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	5%	0%	Min 15%	19,04	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	5%	0%	Min 65%	131,29	Memenuhi
Stabilitas	5%	0%	Min 800 kg	1308,93	Memenuhi
Kelelahan Plastis / Flow	5%	0%	2,0 - 4,0	6,10	Tidak Memenuhi
Marshall Quotient	5%	0%	-	214,58	Memenuhi
	5%				
Rongga Udara (VIM)	5%	2%	3,0 - 5,0 %	-9,26	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	5%	2%	Min 15%	19,99	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	5%	2%	Min 65%	147,58	Memenuhi
Stabilitas	5%	2%	Min 800 kg	1685,25	Memenuhi
Kelelahan Plastis / Flow	5%	2%	2,0 - 4,0	6,37	Tidak Memenuhi
Marshall Quotient	5%	2%	-	264,70	Memenuhi
	5%				
Rongga Udara (VIM)	5%	4%	3,0 - 5,0 %	-11,21	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	5%	4%	Min 15%	22,57	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	5%	4%	Min 65%	149,92	Memenuhi
Stabilitas	5%	4%	Min 800 kg	1603,44	Memenuhi
Kelelahan Plastis / Flow	5%	4%	2,0 - 4,0	6,83	Tidak Memenuhi
Marshall Quotient	5%	4%	-	234,65	Memenuhi
	5%				
Rongga Udara (VIM)	5%	6%	3,0 - 5,0 %	-6,34	Tidak Memenuhi
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	5%	6%	Min 15%	23,77	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal (VFB)	5%	6%	Min 65%	128,21	Memenuhi
Stabilitas	5%	6%	Min 800 kg	2130,29	Memenuhi
Kelelahan Plastis / Flow	5%	6%	2,0 - 4,0	6,87	Tidak Memenuhi
Marshall Quotient	5%	6%	-	310,24	Memenuhi

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

4.7.1. Rekapitulasi Hasil *Marshall Test*

Tabel 4. 24. Rekapitulasi Marshall Test.

Benda Uji	VMA		
	Benda Uji		
	1	2	3
SF0A0	19,72	19,17	20,96
SF0A2	25,74	20,50	19,32
SF0A4	23,21	21,25	22,73
SF0A6	25,98	26,22	23,42
SF1A0	20,45	19,88	25,45
SF1A2	20,89	20,88	19,06
SF1A4	23,39	25,81	18,54
SF1A6	23,35	18,09	26,69
SF3A0	17,98	20,81	19,42
SF3A2	28,95	22,15	8,21
SF3A4	19,50	14,77	29,15
SF3A6	22,85	26,21	23,85
SF5A0	19,99	19,64	17,49
SF5A2	22,39	18,64	18,94
SF5A4	21,48	23,35	22,87
SF5A6	24,71	25,88	20,71

Benda Uji	VIM		
	Benda Uji		
	1	2	3
SF0A0	-42,61	-43,60	-40,41
SF0A2	-0,30	-7,37	-8,97
SF0A4	-5,30	-7,98	-5,95
SF0A6	4,64	4,95	1,36
SF1A0	-33,48	-34,44	-25,09
SF1A2	-3,89	-3,90	-6,30
SF1A4	-33,79	-29,56	-42,25
SF1A6	-1,41	-8,36	3,01
SF3A0	-11,83	-7,97	-9,87
SF3A2	7,44	-1,42	-19,58
SF3A4	-0,50	-6,39	11,55
SF3A6	10,81	14,70	11,97
SF5A0	-4,60	-5,07	-7,88
SF5A2	-5,98	-11,11	-10,69
SF5A4	-12,77	-10,09	-10,77
SF5A6	-5,02	-3,39	-10,60

Benda Uji	VFB		
	Benda Uji		
	1	2	3
SF0A0	316,07	327,47	292,79
SF0A2	101,17	135,94	146,45
SF0A4	122,83	137,56	126,17
SF0A6	82,12	81,11	94,22
SF1A0	263,67	273,25	198,57
SF1A2	118,63	118,67	133,03
SF1A4	244,48	214,52	327,94
SF1A6	106,02	146,24	88,71
SF3A0	165,80	138,30	150,82
SF3A2	74,30	106,40	338,38
SF3A4	102,55	143,27	60,37
SF3A6	52,70	43,93	49,83
SF5A0	123,03	125,80	145,05
SF5A2	126,70	159,59	156,44
SF5A4	159,44	143,22	147,09
SF5A6	120,31	113,11	151,19

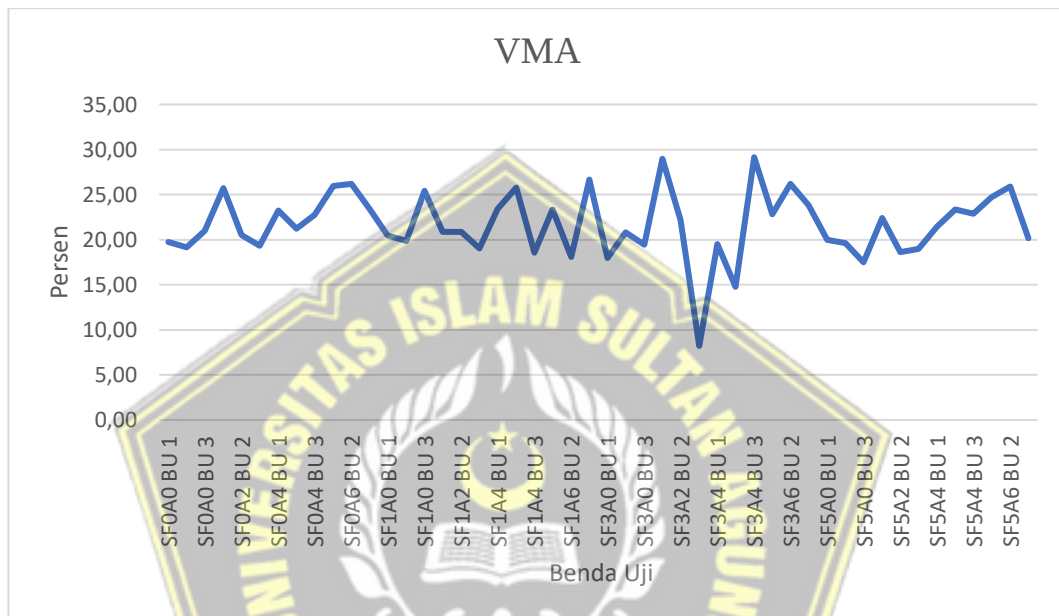
Benda Uji	Stabilitas		
	Benda Uji		
	1	2	3
SF0A0	981,70	1079,87	873,71
SF0A2	932,62	1138,77	1364,56
SF0A4	1266,39	1236,94	1197,67
SF0A6	922,80	912,98	1335,11
SF1A0	1020,97	1070,05	1521,64
SF1A2	1521,64	1374,38	2650,59
SF1A4	981,70	500,67	2454,25
SF1A6	883,53	1207,49	2650,59
SF3A0	598,84	1384,20	942,43
SF3A2	1011,15	1600,17	1570,72
SF3A4	942,43	1011,15	3239,61
SF3A6	1325,30	687,19	2601,51
SF5A0	942,43	912,98	2071,39
SF5A2	1570,72	1325,30	2159,74
SF5A4	1384,20	1227,13	2199,01
SF5A6	1521,64	1482,37	3386,87

Benda Uji	Flow		
	Benda Uji		
	1	2	3
SF0A0	5,50	5,10	5,50
SF0A2	4,30	5,80	5,70
SF0A4	7,20	7,60	4,10
SF0A6	6,20	7,30	5,40
SF1A0	6,60	7,30	6,30
SF1A2	8,10	6,40	8,40
SF1A4	4,00	5,50	7,20
SF1A6	7,30	7,60	5,70
SF3A0	5,50	4,50	6,70
SF3A2	4,80	5,70	4,00
SF3A4	4,40	6,50	2,70
SF3A6	4,60	4,90	7,60
SF5A0	6,60	7,50	4,20
SF5A2	5,20	6,40	7,50
SF5A4	6,60	7,50	6,40
SF5A6	6,50	8,50	5,60

Benda Uji	MQ		
	Benda Uji		
	1	2	3
SF0A0	178,49	211,74	158,86
SF0A2	216,89	196,34	239,40
SF0A4	175,89	162,76	292,12
SF0A6	148,84	125,07	247,24
SF1A0	154,69	146,58	241,53
SF1A2	187,86	214,75	315,55
SF1A4	245,43	91,03	340,87
SF1A6	121,03	158,88	465,02
SF3A0	465,02	230,18	108,88
SF3A2	140,66	175,18	210,66
SF3A4	392,68	288,42	214,19
SF3A6	214,19	155,56	1199,86
SF5A0	288,11	140,24	342,30
SF5A2	142,79	121,73	493,19
SF5A4	302,06	207,08	287,97
SF5A6	209,73	163,62	343,60

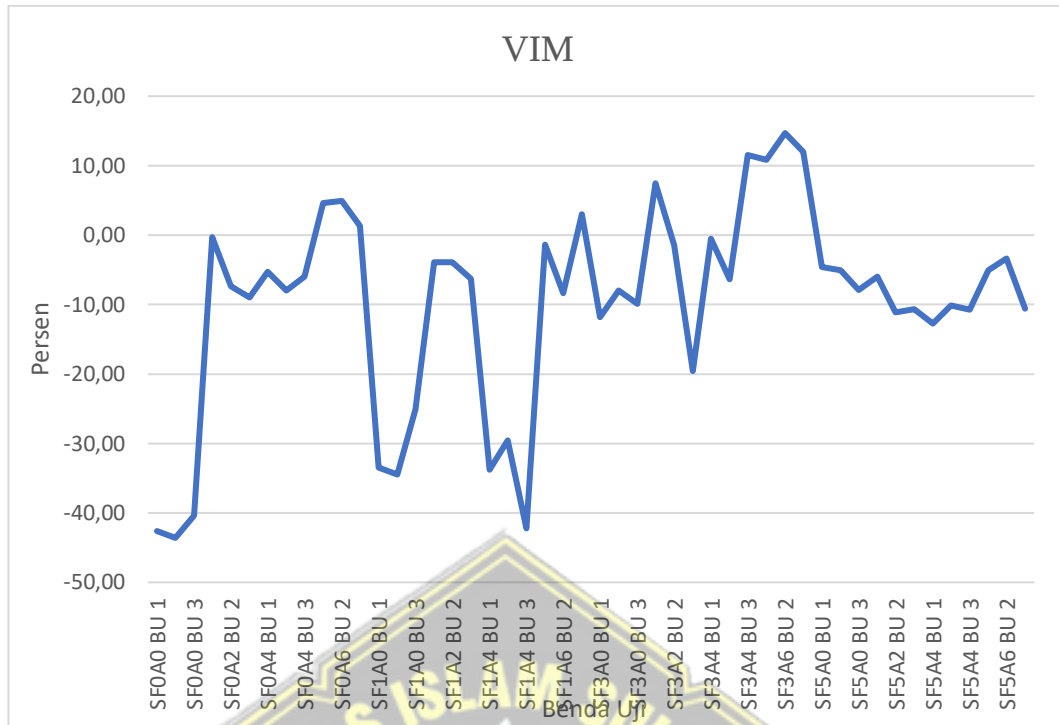
Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada Tabel 4.29 di atas, terdapat rekapitulasi yang menyajikan seluruh data hasil uji dari berbagai susunan benda uji yang telah dilakukan. Data ini dirangkum dalam format tabel dan grafik agar informasi lebih mudah dipahami dan dianalisis, serta memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai hasil pengujian yang telah dilakukan. Hal ini dilakukan berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, sebagai pedoman untuk penyajian dan analisis data pengujian dalam proyek konstruksi jalan.



Grafik 4. 26. Rekapitulasi Nilai VMA
Sumber : Hasil Penelitian, 2025

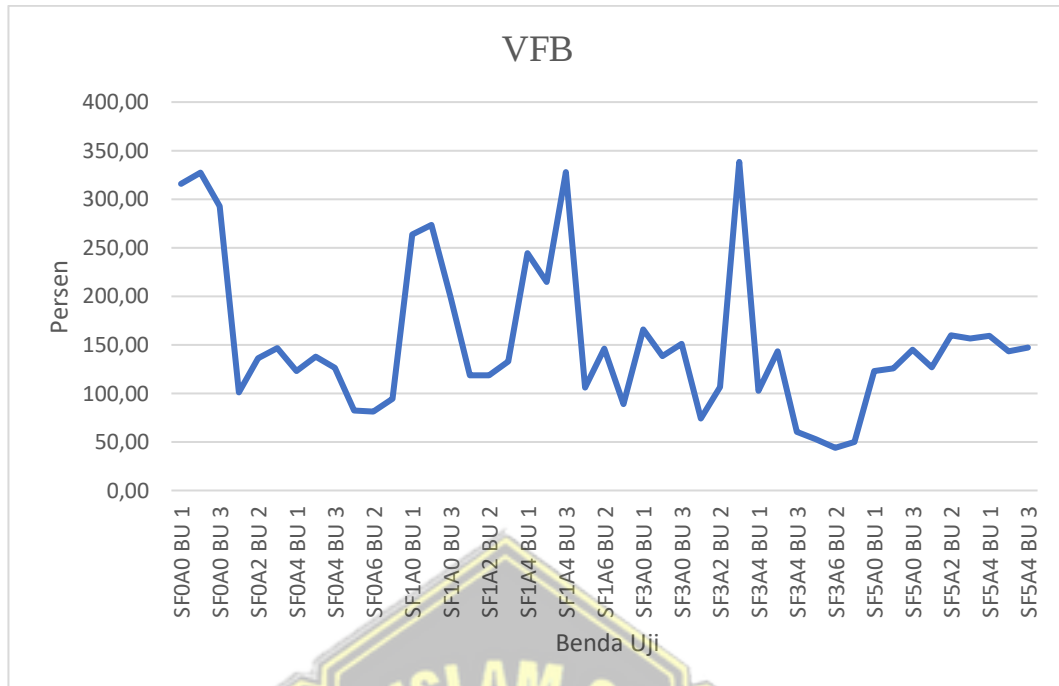
Nilai VMA (*Void in Mineral Aggregate*) untuk setiap campuran berada di atas batas minimum yang ditetapkan, yaitu 15%. Dengan demikian, semua campuran memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan. Nilai terendah sebesar 8,21% (SF3A2 BU 3), sedangkan nilai tertinggi adalah 26,22% (SF0A6 BU 2).



Grafik 4. 27. Rekapitulasi Nilai VIM

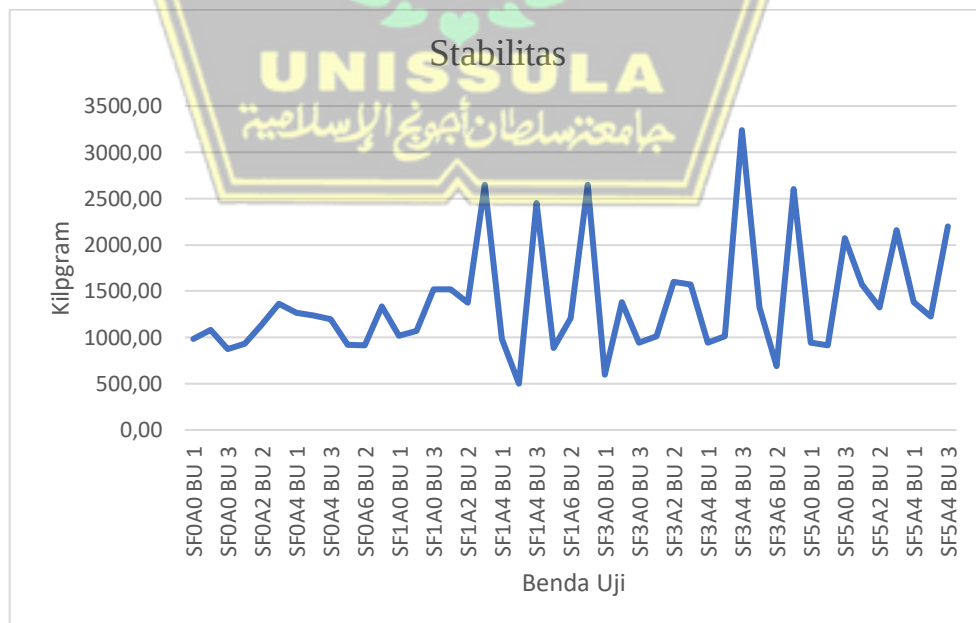
Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Nilai VIM (*Void in the Mix*) untuk setiap campuran beberapa berada di atas batas minimum yang ditetapkan, yaitu 3% dan batas maksimum yaitu 5%. Dengan demikian, ada beberapa campuran yang tidak memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan. Nilai terendah sebesar -43,60% (SF0A0 BU 1), sedangkan nilai tertinggi adalah 14,70% (SF3A6 BU 2).



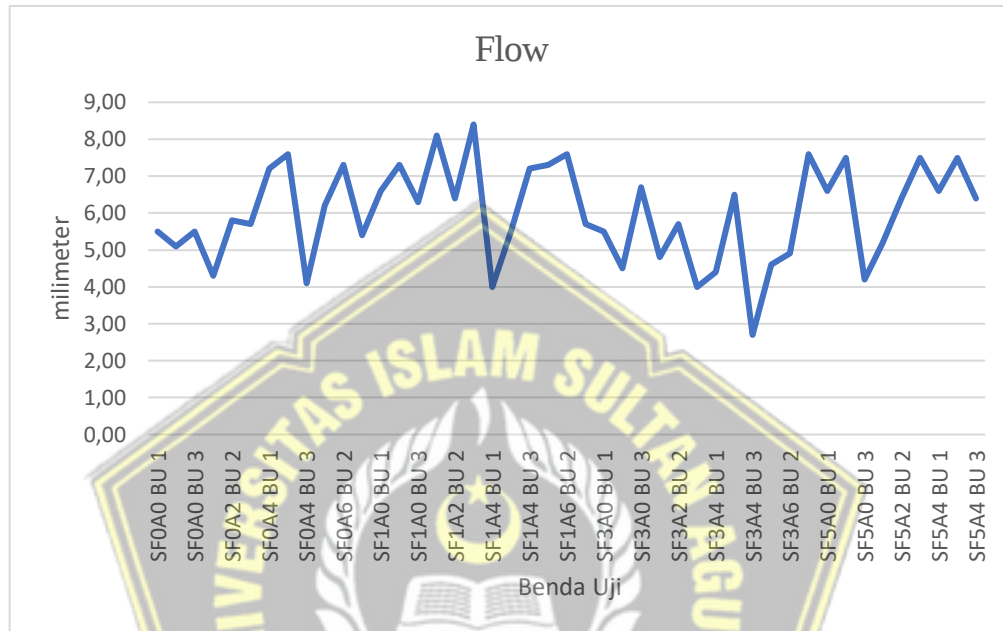
Grafik 4. 28. Rekapitulasi Nilai VFB
Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Nilai VFB (*Void Filled with Bitumen*) menunjukkan bahwa sebagian besar campuran telah memenuhi spesifikasi minimum sebesar 65%. Namun, terdapat beberapa campuran yang tidak memenuhi spesifikasi, seperti SF3A4 BU 3 (60,37%), SF3A6 BU 1 (52,70%), SF3A6 BU 2 (43,93%) dan SF3A6 BU 3 (49,83%).



Grafik 4. 29. Rekapitulasi Nilai Stabilitas
Sumber : Hasil Penelitian, 2025

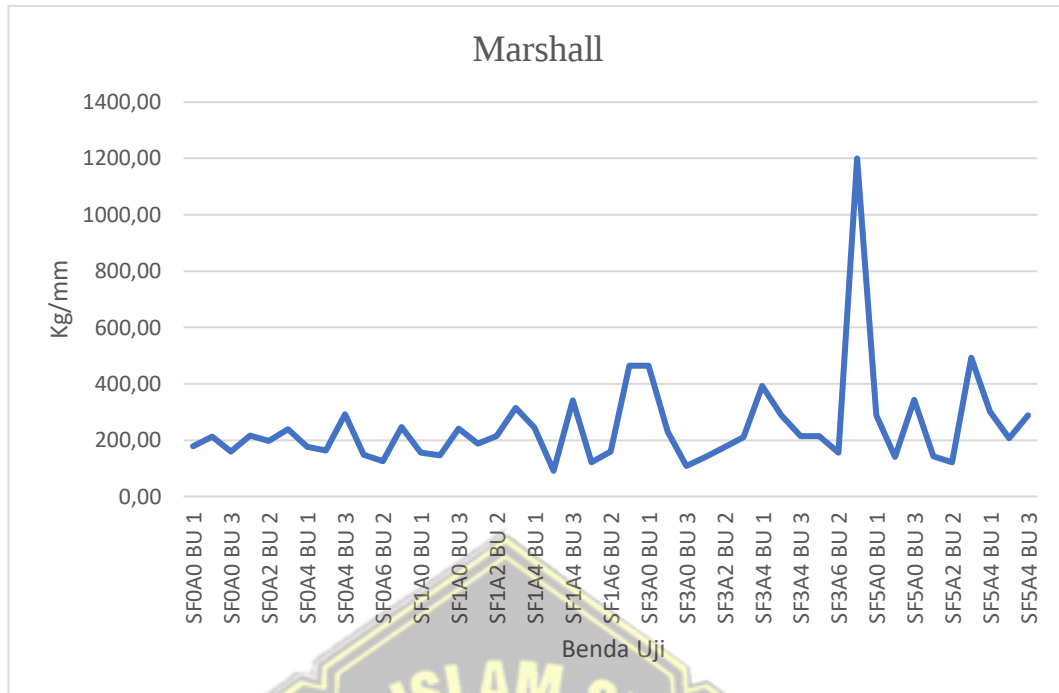
Nilai stabilitas untuk setiap campuran berada atas batas minimum yang ditetapkan, yaitu 800 kg. Namun terdapat beberapa campuran yang tidak memenuhi seperti SF3A0 BU 1 (598,84 kg) dan SF3A6 BU 2 (687,19 kg). Dengan demikian, terdapat 2 campuran yang tidak memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan. Nilai terendah sebesar 598,84 kg (SF3A0 BU 1), sedangkan nilai tertinggi adalah 3386,87 kg (SF5A6 BU 3).



Grafik 4. 30. Rekapitulasi Nilai Flow

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Nilai Kelelehan (*Flow*), batas minimum yang ditetapkan adalah 2% dan maksimum adalah 4%. Dengan demikian, hanya terdapat 3 benda uji yang memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan. Yaitu SF1A4 BU 1 (4 mm), SF3A2 BU 3 (4 mm) dan SF3A4 BU 3 (2,70 mm). Nilai terendah sebesar 2,70 mm (SF3A4 BU 3), sedangkan nilai tertinggi adalah 8,5 mm (SF5A6 BU 2).



Grafik 4. 31. Rekapitulasi Nilai MQ

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Hasil *Marshall Quotient* untuk setiap campuran telah memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan. Dengan nilai terendah sebesar 91,03 kg (SF1A4 BU 2), sedangkan nilai tertinggi adalah 1199,86kg (SF3A4 BU 3).

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

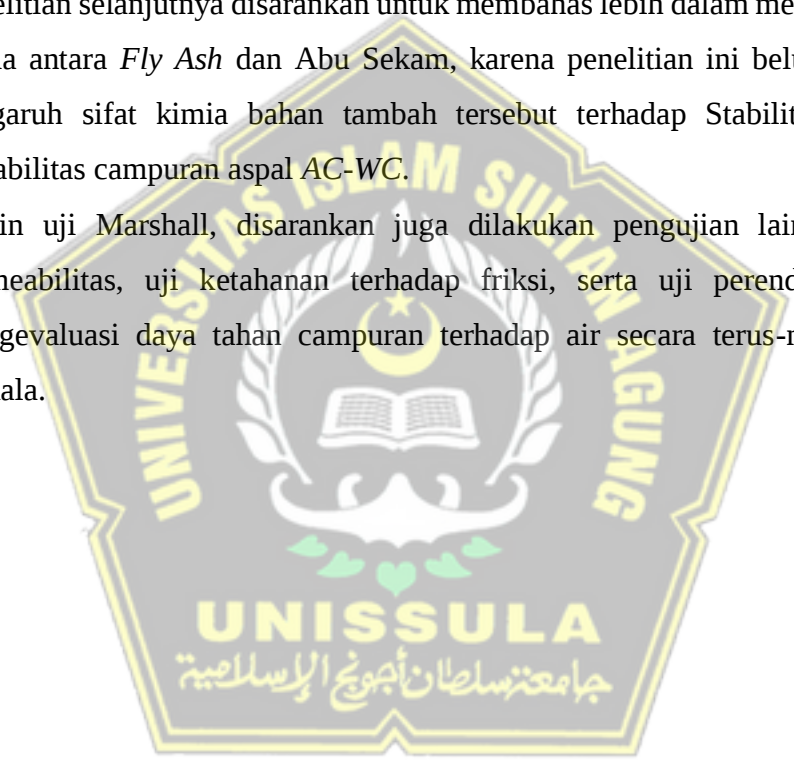
Dari hasil analisis data dalam penelitian ini, beberapa kesimpulan yang dapat ditarik adalah sebagai berikut:

1. Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) dengan Fly Ash dan Abu Sekam berpengaruh terhadap nilai stabilitas, dimana hasil stabilitas Marshall yang diperoleh masih sesuai dengan standar spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 revisi ke-2, yaitu dengan nilai Marshall di atas 800 kg, nilai stabilitas *Marshall* terendah berada di kombinasi substitusi *Fly Ash* 3% dengan penambahan Abu Sekam 0% dengan nilai rata-rata stabilitas adalah 975,16 kg. Nilai stabilitas *Marshall* tertinggi pada komposisi kombinasi *Fly Ash* 5 % dan Abu Sekam 6%, yaitu sebesar 2130,29 kg. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi tersebut dapat mempengaruhi sifat campuran (AC-WC).
2. Berdasarkan hasil penelitian, Job Mix Design dengan karakteristik terbaik untuk Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) yang menggunakan tambahan Fly Ash dan Abu Sekam adalah kombinasi dengan kadar Fly Ash 0% dan Abu Sekam 6%. Pada pengujian tersebut, hanya nilai Flow yang tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Hasil Marshall Benda Uji dengan nilai (VMA 25,21), (VIM 3,65), (VFB 85,82), (Stabilitas 1056,96), (Flow 6,30) , (Marshall Quotient 195,82) dan disimpulkan bahwa kurang cocok digunakan sebagai perkerasan jalan. Dikarenakan nilai flow 6,30 tidak memenuhi spesifikasi.

5.2. Saran

Dari penelitian ini, beberapa saran dapat disampaikan untuk memperoleh hasil yang lebih baik pada penelitian berikutnya, yaitu:

1. Menjaga kondisi ruang laboratorium tetap stabil sangat penting agar hasil penimbangan material tidak terpengaruh.
2. Proses pemadatan benda uji menggunakan alat compaction harus dilakukan secara teliti dan sesuai dengan ketentuan standar SNI.
3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengeksplorasi variasi campuran *Fly Ash* dan Abu Sekam.
4. Penelitian selanjutnya disarankan untuk membahas lebih dalam mengenai reaksi kimia antara *Fly Ash* dan Abu Sekam, karena penelitian ini belum mengkaji pengaruh sifat kimia bahan tambah tersebut terhadap Stabilitas dan juga Durabilitas campuran aspal AC-WC.
5. Selain uji Marshall, disarankan juga dilakukan pengujian lain seperti uji permeabilitas, uji ketahanan terhadap friksi, serta uji perendaman untuk mengevaluasi daya tahan campuran terhadap air secara terus-menerus atau berkala.



DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, S. J., Burhanuddin, B., & Jufriadi, J. (2015). Hubungan Nilai Cbr Dan Sand Cone Lapisan Pondasi Bawah Pada Perkerasan Lentur Jalan. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 5(1).
- ANALISA PENGARUH PENGGUNAAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI FILLER DALAM. (t.t.).
- Bethary, R. T., & Intari, D. E. (2022). Penggunaan Limbah Slag Nikel Untuk Material Jalan Ramah Lingkungan. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, 11(1), 34–43.
- Dimas, D., Aulya, S., Akbar, A., Bakti, S., Shidqin, L., & Nurchasanah, Y. (t.t.). TEKNOLOGI BAHAN SUSUN BETON DENGAN PEMANFAATAN ABU-SEKAM PADI: RIVIEW ARTIKEL.
- Hajar, F. I., Irawati, I., & Hamduwibawa, R. B. (2025). Pengaruh Campuran Fly Ash/Aspal Porus Terhadap Nilai Stabilitas Dengan Metode Marshall. *Jurnal Smart Teknologi*, 6(3), 413–422.
- JERANJANG, P., & HIDAYATULLOH, W. (t.t.). ANALISIS PERBANDINGAN METODE CURING TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK PADA BINDER GEOPOLIMER.
- Kamil, R. F. R., & RISDIANTO, Y. (t.t.). Pengaruh Penggunaan Agregat Beton Daur Ulang dan Asbuton BGA Dalam Pembuatan AC-WC.
- Kunusa, W. R., Badu, R. R., Umadji, N. I. R., Paramata, M. Z., & Ibrahim, R. I. (2025). EFEKTIVITAS LIMBAH PLTU: PENGGUNAAN FLY ASH DAN BOTTOM ASH SEBAGAI ADSORBEN UNTUK MENURUNKAN KANDUNGAN TSS LIMBAH CAIR TAHU. *Jurnal Purifikasi*, 24(1), 52–58.
- Lestari, I., & Istri, G. A. A. (2013). Perbandingan Perkerasan Kaku dan Perkerasan Lentur. *Jurnal Transportasi*, 7(1), 133–134.

Maulana, R., & Kurnia, A. (t.t.). *BANDINGAN ABU SEKAM PADI DAN ABU KAPUR PADA CAMPURAN LATASTON PERKERSAN JALAN*.

Nur, N. K., Mahyuddin, M., Bachtiar, E., Tumpu, M., Mukrim, M. I., Irianto, I., Kadir, Y., P Arifin, T. S., Ahmad, S. N., & Masdiana, M. (2021). *Perancangan Perkerasan Jalan*. Yayasan Kita Menulis.

PEMANFAATAN LIMBAH JERAMI PADI SEBAGAI SUBSTITUSI FILLER PADA CAMPURAN ASPAL MENGGUNAKAN SPESIFIKASI BINA MARGA AC-WC(Asphalt Concrete-Wearing Course). (t.t.).

Raharja, S., & As, S. (t.t.). *PENGARUH PENGGUNAAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON KINERJA TINGGI*.

Seminar Nasional Keinsinyuran (SNIP). (t.t.).

Studi Teknik Sipil, P., Teknik, F., Palangka Raya Jln Hendrik Timang, U., Raya, P., Amin, M., Raya Jln Hendrik Timang, P., & Elvina, I. (t.t.). *PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN KAKU DENGAN METODE AASHTO 1993 PADA RUAS JALAN DUSUN BETUNG KABUPATEN KATINGAN Rut Magdalena Silitonga*. Dalam *Oktober* (Vol. 4, Nomor 1).

Teknik Sipil_30202100056_fullpdf. (t.t.).

Urfan. (2020). *ANALISIS TEGANGAN PADA STRUKTUR PERKERASAN KAKU YANG DILAPISI ASPAL BERONGGA AKIBAT BEBAN STATIK* (Vol. 3, Nomor 1).

Wibawa, E. D. (2011). *Studi Penggunaan Material Galian Dari Desa Koripan, Matesih Untuk Pembuatan Asphalt Concrete Campuran Dingin*.

Yanti, G., Megasari, S. W., Rahmat, H., Yos, J., Km, S., & Pekanbaru, R. (2017). *KARAKTERISTIK MARSHALL PADA CAMPURAN AC-BC DENGAN PENAMBAHAN BAHAN PENGISI (FILLER) FLY ASH*. Dalam *Jurnal Rab Construction Research* (Vol. 2, Nomor 1).

Yunus, A. (2010). Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton dengan Bahan Tambah Fly Ash sebagai Bahan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement). *Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Sebelas Maret Surakarta*.

