

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 : 21 Agustus 2025

Tim Penguji :

1. **Ir.H.Rachmat Mudiyo, M.T., Ph.D.**
NIDN : 0605016802

2. **Dr. Juny Andry Sulistyo, ST., MT.**
NIDN : 0611118903

3. **Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng**
NIDN : 0625059102

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 menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut dibawah ini 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	12/6/2025	ACC
5	Penyusunan Laporan	18/7/2025	ACC
6	Selesai Laporan	14/8/2025	ACC

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

Dosen Pembimbing



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

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



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”

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

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana
mestinya.



Semarang, 21 Agustus 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"

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

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

Semarang, 21 Agustus 2025
Yang Membuat Pernyataan,



Dzaky Daniswara Wahyudi
NIM : 30202100073



Farid Fardan Ramdhani
NIM : 30202100085

MOTTO

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)

berlomba-lombalah kamu dalam berbagai kebajikan.

(QS Al-Baqarah: 148)

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

(QS. Luqman: 17)

Allah tidak membebani seseorang, kecuali menurut kesanggupannya.

(QS. Al-Baqarah: 286)



MOTTO

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)

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 mengejutkan”

(Farid Stevy)

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

(Perunggu – 33x)

PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tua saya tercinta, Bapak Teguh Wahyudi dan Ibu Yuni Astuti terima kasih selalu memberikan doa, semangat, motivasi, dukungan, dan pengorbanan yang tiada terhingga baik berupa materi maupun moril. Sebagai tanda bakti, hormat, dan rasa terima kasih saya persembahkan Tugas Akhir dan Gelar Sarjana ini untuk bapak dan ibu.
2. Saudara dan Saudari saya yang selalu memberi semangat, dukungan, dan doa selama menempuh pendidikan dan mengerjakan Tugas Akhir serta yang selalu menghibur saya selama saya merasa jenuh mengerjakan Tugas Akhir.
3. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyono, M.T., Ph.D. dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen Fakultas Teknik Progam Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung yang telah memberikan ilmunya.
5. Farid Fardan Ramdhani yang telah menjadi partner Tugas Akhir saya, terimakasih sudah berjuang bersama menyelesaikan Tugas Akhir dan melewati suka duka selama mengerjakan Tugas Akhir.
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, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah yang saya rasakan hingga saat ini. Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya tercinta, Bapak Ngatono dan Asrofah terima kasih selalu memberikan doa, semangat, motivasi, dukungan, dan pengorbanan yang tiada terhingga baik berupa materi maupun moril. Sebagai tanda bakti, hormat, dan rasa terima kasih saya persembahkan Tugas Akhir dan Gelar Sarjana ini untuk bapak dan ibu.
2. 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. Bapak Ir.H.Rachmat Mudiyo, M.T., Ph.D. dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen Fakultas Teknik Progam Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung yang telah memberikan ilmunya.
5. Dzaky Daniswara Wahyudi yang telah menjadi partner Tugas Akhir saya, terimakasih sudah berjuang bersama menyelesaikan Tugas Akhir dan melewati suka duka selama mengerjakan Tugas Akhir.
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 asma Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, segala puja dan puji syukur bagi Allah Subhanahu Wa ta'ala yang atas Rahmat, Taufiq, dan Hidayah Nya, kami telah apat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “ ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN *FLY ASH* DAN ABU SEKAM PADI PADA ASPAL BETON (*AC-WC*) TERHADAP STABILITAS DAN DURABILITAS”.

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

Untuk itu ingin mengucapkan terima kasih kepada kepada :

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

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

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Semarang,

2025

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.....	vi
MOTTO.....	vii
PERSEMBAHAN	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xi
Abstrak	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
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.....	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	31
3.1 Tipe Penelitian.....	31
3.2 Alat Dan Bahan Penelitian	31
3.2.1 Kebutuhan Bahan dan Material	31
3.2.2 Peralatan yang Dipakai	32
3.3 Pengumpulan Data.....	33
3.4 Metode Pengolahan Data.....	33
3.5 Pemeriksaan Karakteristik <i>Marshall</i>	34
3.5.1 Pemeriksaan agregat kasar dan halus.....	34
3.5.2 Pemeriksaan sifat fisis aspal	35
3.6 Rancangan Campuran Aspal Beton.....	36
3.7 Bagan Alur Penelitian.....	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1. Pendahuluan	47
4.2. Pengujian Material.....	50
4.2.1. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Penetrasi 60/70	50

4.2.2.	Pengujian Gradasi <i>Aggregate</i>	50
4.2.3.	Pengujian Gradasi <i>Aggregate Hot Bin II</i>	52
4.2.4.	Pengujian Gradasi <i>Aggregate Hot Bin III</i>	52
4.2.5.	Pengujian Gradasi <i>Aggregate Hot Bin IV</i>	53
4.2.6.	Pengujian Pasir.....	54
4.2.7.	Pengujian <i>Filler</i> (Semen).....	55
4.2.8.	Hasil Pengujian <i>Fly Ash</i>	56
4.2.9.	Hasil Perhitungan Kombinasi Agregat.....	57
4.3.	Hasil Perhitungan Kombinasi.....	59
4.4.	Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (AASHTO-209s).....	59
4.4.1.	Pengujian Berat Jenis Dengan Campuran Komposisi Normal	59
4.4.2.	Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>)	60
4.4.3.	Ringkasan Hasil Pengujian	61
4.5.	Pembuatan Benda Uji.....	62
4.6.	Pemeriksaan Berat Jenis Campuran (GMM) Pada Aspal Modifikasi	63
4.6.1.	Berat Jenis Campuran Substitusi <i>Fly Ash</i> 0% - 1% (SF0A0-SF1A0) dan Bahan Tambah Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%).....	63
4.6.2.	Berat Jenis Campuran Substitusi <i>Fly Ash</i> 1% - 3% (SF1A2-SF3A2) dan Bahan Tambah Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%).....	64
4.6.3.	Berat Jenis Campuran Substitusi <i>Fly Ash</i> 3% - 5% (SF3A4-SF5A6) dan Bahan Tambah Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%).....	65
4.7.	Hasil Pemeriksaan <i>Marshall Test</i>	66
4.7.1.	Hasil <i>Marshall Test</i> Benda Uji Kombinasi <i>Fly Ash</i> 0% Dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	67
4.7.2.	Hasil <i>Marshall Test</i> Benda Uji Kombinasi <i>Fly Ash</i> 1% Dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	74
4.7.3.	Hasil <i>Marshall Test</i> Benda Uji Kombinasi <i>Fly Ash</i> 3% Dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	82
4.7.4.	Hasil <i>Marshall Test</i> Benda Uji Kombinasi <i>Fly Ash</i> 5% Dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	91
	Grafik 4. 25. Pengujian Gradasi <i>Aggregate Hot Bin II</i>	97
4.7.1.	Rekapitulasi Hasil <i>Marshall Test</i>	99
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		114
5.1.	Kesimpulan.....	114
5.2.	Saran.....	115

DAFTAR PUSTAKA	116
----------------------	-----



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.....	46
Gambar 4. 1 Stone Crusher PT. Semarang Multicon	47
Gambar 4. 2 Asphalt Mixing Plant (AMP) PT. Semarang Multicon	48
Gambar 4. 3 Aspal Penetrasi 60/70	48
Gambar 4. 4 Fly Ash.....	49
Gambar 4. 5 Abu Sekam.....	49
Gambar 4. 6 Pengujian Marshall.....	66



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.....	25
Tabel 3. 1 Job Mix Design Aspal Beton Normal	36
Tabel 3. 2 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 0% dan Abu Sekam 2%	36
Tabel 3. 3 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 0% dan Abu Sekam 4%	37
Tabel 3. 4 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 0% dan Abu Sekam 6%	37
Tabel 3. 5 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 1% dan Abu Sekam 0%	38
Tabel 3. 6 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 1% dan Abu Sekam 2%	38
Tabel 3. 7 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 1% dan Abu Sekam 4%	39
Tabel 3. 8 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 1% dan Abu Sekam 6%	39
Tabel 3. 9 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 3% dan Abu Sekam 0%	40
Tabel 3. 10 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 3% dan Abu Sekam 2%	40
Tabel 3. 11 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 3% dan Abu Sekam 4%	41
Tabel 3. 12 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 3% dan Abu Sekam 6%	41
Tabel 3. 13 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 5% dan Abu Sekam 0%	42
Tabel 3. 14 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 5% dan Abu Sekam 2%	42
Tabel 3. 15 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 5% dan Abu Sekam 4%	43
Tabel 3. 16 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 5% dan Abu Sekam 6%	43
Tabel 3. 17 Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Oprimum.....	45
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Penetrasi 60/70	50
Tabel 4. 2 Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat.....	51
Tabel 4. 3 Pengujian Gradasi <i>Aggregat Hot Bin II</i>	52

Tabel 4. 4 Hasil Analisa Pembagian Butiran Hot Bin III	53
Tabel 4. 5 Hasil Analisa Pembagian Hot Bin IV	54
Tabel 4. 6. Hasil Analisa Pembagian Butiran Pasir	55
Tabel 4. 7. Hasil Analisa Pembagian Butiran Filler (Semen)	56
Tabel 4. 8. Hasil Analisa Pembagian Butiran	57
Tabel 4. 9. Perhitungan Kombinasi Agregat	58
Tabel 4. 10. Pemeriksaan Berat Jenis Komposisi Normal	60
Tabel 4. 11. Rincian Benda Uji	61
Tabel 4. 12. Komposisi Material AC - WC.....	62
Tabel 4. 13. Modifikasi dan Variasi Benda Uji.....	63
Tabel 4. 14. Pemeriksaan berat jenis Campuran Fly Ash 0% - 1% (SF0A0-SF1A0) dan bahan tambah Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%)	64
Tabel 4. 15. Pemeriksaan berat jenis Campuran Fly Ash 1% - 3% (SF1A2-SF3A2) dan bahan tambah Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%).	64
Tabel 4. 16. Pemeriksaan berat jenis Campuran Fly Ash 3% - 5% (SF3A4-SF5A6) dan bahan tambah Abu Sekam (0%, 2%, 4%, 6%)	65
Tabel 4. 17. Hasil Marshall Komposisi Fly Ash 0% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	67
Tabel 4. 18. Hasil Marshall Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	75
Tabel 4. 19. Rekap Hasil Rata-Rata Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%.....	82
Tabel 4. 20. Hasil Marshall Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	83
Tabel 4. 21. Rekap Hasil Rata-Rata Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%.....	90
Tabel 4. 22. Hasil Marshall Komposisi Fly Ash 5% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	91
Tabel 4. 23. Rekap Hasil Rata-Rata Komposisi Fly Ash 5% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%.....	98
Tabel 4. 24. Rekapitulasi Marshall Test.....	99

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Kombinasi Gradasi Agregat	58
Grafik 4. 2. VIM Komposisi Fly Ash 0% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	68
Grafik 4. 3. VMA untuk Komposisi Fly Ash 0% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	69
Grafik 4. 4. VFB untuk Komposisi Fly Ash 0% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%.....	70
Grafik 4. 5. Stabilitas untuk Komposisi Fly Ash 0% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	71
Grafik 4. 6. Flow untuk Komposisi Fly Ash 0% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%.....	72
Grafik 4. 7. Marshall Quotient untuk Komposisi Fly Ash 0% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%.....	73
Grafik 4. 8. VIM Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	76
Grafik 4. 9. VMA untuk Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	77
Grafik 4. 10. VFB untuk Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	78
Grafik 4. 11. Stabilitas untuk Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%.....	79
Grafik 4. 12. Flow untuk Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	80
Grafik 4. 13. Marshall Quotient untuk Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%.....	81
Grafik 4. 14. VIM Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	84
Grafik 4. 15. VMA untuk Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	85
Grafik 4. 16. VFB untuk Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	86
Grafik 4. 17. Stabilitas untuk Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%.....	87
Grafik 4. 18. Flow untuk Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	88
Grafik 4. 19. Marshall Quotient untuk Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%.....	89
Grafik 4. 20. VIM Komposisi Fly Ash 5% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	92
Grafik 4. 21. VMA untuk Komposisi Fly Ash 5% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	93

Grafik 4. 22. VFB untuk Komposisi Fly Ash 5% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	94
Grafik 4. 23. Stabilitas untuk Komposisi Fly Ash 5% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	95
Grafik 4. 24. Flow untuk Komposisi Fly Ash 5% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%	96
Grafik 4. 25. Pengujian Gradasi <i>Aggregate Hot Bin II</i>	97
Grafik 4. 26. Rekapitulasi Nilai VMA	103
Grafik 4. 27. Rekapitulasi Nilai VIM	105
Grafik 4. 28. Rekapitulasi Nilai VFB	107
Grafik 4. 29. Rekapitulasi Nilai Stabilitas	109
Grafik 4. 30. Rekapitulasi Nilai Flow	111
Grafik 4. 31. Rekapitulasi Nilai MQ	113



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

UNISSULA
جامعة سلطان أبوبوع الإسلامية

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Infrastruktur jalan merupakan elemen krusial dalam mendukung mobilitas masyarakat dan distribusi barang, serta menjadi indikator utama dalam pembangunan ekonomi suatu daerah. Lapisan permukaan ini berfungsi 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 dan ramah lingkungan.

Salah satu alternatif yang menjanjikan dalam meningkatkan performa jangka panjang perkerasan jalan adalah dengan memodifikasi campuran aspal menggunakan bahan tambahan seperti *fly ash*. *Fly ash* adalah abu hasil pembakaran batu bara di pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang mengandung senyawa silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3), yang memiliki sifat pozolan (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.

Selain fly ash, limbah pertanian berupa abu sekam padi (rice husk ash) juga memiliki potensi yang besar untuk digunakan sebagai filler dalam campuran aspal beton. Sekam padi yang merupakan hasil samping dari proses penggilingan beras jumlahnya sangat melimpah di Indonesia sebagai negara agraris. Sayangnya, sebagian besar sekam padi hanya dibakar begitu saja sehingga menghasilkan abu yang kurang dimanfaatkan dan bahkan berpotensi mencemari lingkungan. Abu sekam padi kaya akan kandungan silika reaktif (SiO_2) yang bersifat pozolan, sehingga mampu meningkatkan kinerja material konstruksi. Dalam konteks perkerasan jalan, abu sekam padi dapat memperbaiki sifat volumetrik campuran, meningkatkan kepadatan, serta menambah nilai stabilitas Marshall. Dengan demikian, penggunaannya tidak hanya mengurangi ketergantungan pada filler konvensional, tetapi juga berkontribusi pada pengelolaan limbah pertanian secara lebih produktif.

Kombinasi antara fly ash dan abu sekam padi menjadi menarik untuk diteliti lebih lanjut karena keduanya memiliki sifat yang saling melengkapi. Fly ash dengan komposisi kimianya yang kaya akan silika dan alumina dapat meningkatkan kekuatan serta ketahanan campuran aspal, sementara abu sekam padi mampu memperbaiki struktur mikro campuran melalui pengisian pori-pori halus dan sifat pozolannya. Oleh karena itu, penelitian yang mengkaji pengaruh penggunaan kedua bahan ini secara bersamaan pada campuran aspal AC-WC sangat relevan untuk dilakukan. Penelitian ini diharapkan dapat menjawab pertanyaan mengenai kadar optimal dari masing-masing bahan yang mampu menghasilkan stabilitas dan durabilitas campuran aspal sesuai standar yang berlaku.

Selain aspek teknis, penelitian ini juga memiliki dimensi sosial-ekonomi dan lingkungan. Pemanfaatan limbah industri dan limbah pertanian dapat mengurangi volume limbah yang berpotensi mencemari lingkungan, sekaligus memberikan nilai ekonomi tambahan melalui substitusi material konstruksi. Dengan demikian, penelitian ini selaras dengan tujuan pembangunan infrastruktur yang tidak hanya berorientasi pada kekuatan teknis semata, tetapi juga pada keberlanjutan lingkungan dan efisiensi biaya. Hal ini penting mengingat pembangunan jalan merupakan investasi jangka panjang yang memerlukan material bermutu tinggi agar dapat melayani mobilitas masyarakat secara optimal.

Fly ash juga berfungsi sebagai filler yang mengisi rongga antar agregat, 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 dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat dalam pengembangan material jalan yang lebih awet, ramah lingkungan, dan dapat memenuhi kebutuhan pembangunan infrastruktur jalan yang terus berkembang.

1.2 Rumusan masalah

Beberapa permasalahan yang akan menjadi pokok pembahasan dalam penelitian ini, merujuk pada latar belakang yang telah dijelaskan, 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

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh campuran bahan *fly ash* dan Abu Sekam terhadap aspal AC-WC
2. Menganalisis kadar optimal dari bahan tambah Fly Ash dan Abu sekam pada aspal AC-WC terhadap nilai VIM, VMA, VFB, flow, stabilitas dan MQ

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 hanya menggunakan jenis aspal AC-WC sebagai objek pengujian
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 menguraikan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat yang diharapkan, orisinalitas kajian, serta sistematika dalam penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan tentang adanya aspek legalitas dan teknis yang berkaitan dengan analisis dalam penelitian, pengembangan berkelanjutan dari teori-teori yang digunakan sebagai dasar untuk mengatasi masalah yang muncul selama penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

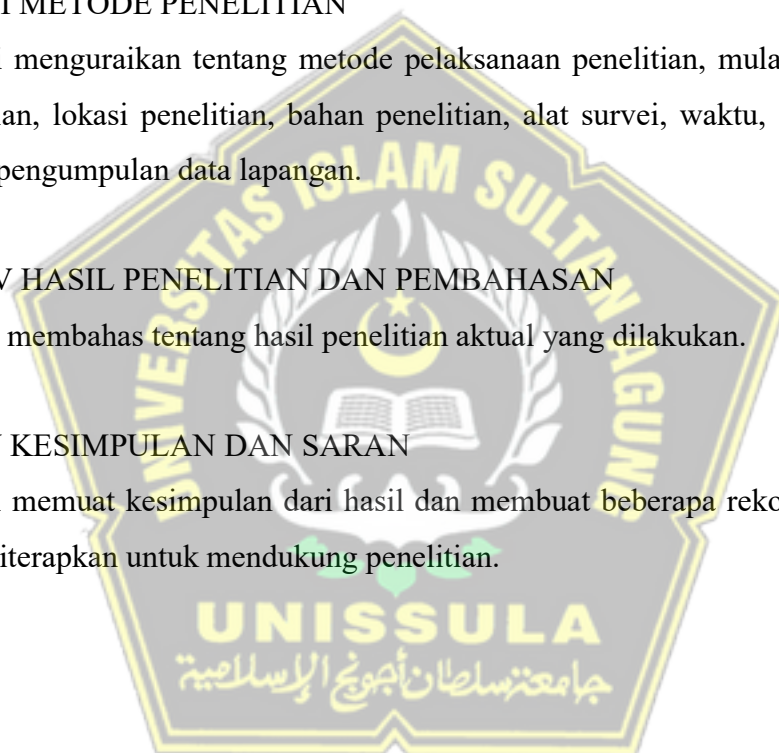
Bab ini menguraikan tentang metode pelaksanaan penelitian, mulai dari tahapan penelitian, lokasi penelitian, bahan penelitian, alat survei, waktu, serta cara dan proses pengumpulan data lapangan.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil penelitian aktual yang dilakukan.

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 merupakan prasarana transportasi darat yang memiliki peranan penting dalam menunjang mobilitas manusia dan barang. Jalan telah digunakan dari dulu oleh manusia untuk beraktifitas, seperti berjalan dan transportasi kendaraan untuk berpindah dari satu tempat ke tempat yang lain. Dengan memahami klasifikasi jalan, perencanaan pengembangan jaringan jalan akan menjadi lebih terarah dan sesuai 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 adalah jalan yang berfungsi melayani perjalanan utama dengan mobilitas tinggi dan jarak tempuh 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 berfungsi menghubungkan jalan lokal atau jalan lingkungan dengan jalan arteri. Jalan ini mengumpulkan dan mendistribusikan lalu lintas dari dan menuju jalan arteri, dengan tingkat pelayanan yang menengah dan pengendalian. Pada umumnya, jalan kolektor memiliki lebar yang lebih kecil dibandingkan jalan arteri namun lebih besar 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.

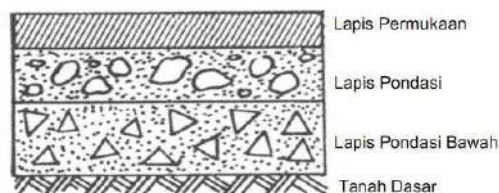
2.1.4 Jalan Lingkungan

Jalan lingkungan adalah 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 adalah struktur perkerasan yang sangat banyak digunakan dibandingkan dengan struktur perkerasan kaku. Struktur perkerasan lentur dikonstruksi baik untuk konstruksi jalan, maupun landasan pacu. Perkerasan lentur dalam perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapisan permukaan serta bahan berbutir sebagai (Kamil & RISDIANTO, t.t.) lapisan di bawah. Menurut ada beberapa jenis perkerasan lentur, salah satunya adalah jenis *Asphalt Concrete* (AC) yang merupakan campuran aspal, agregat kasar, agregat halus, dan filler. Agregat kasar biasanya digunakan oleh *asphalt concrete*.



Gambar 2. 1 Lapisan Perkerasan Lentur

2.2.2 Perkerasan Kaku

Selain perkerasan lentur, jenis perkerasan jalan yang umum digunakan adalah perkerasan kaku. Perkerasan Kaku adalah jenis perkerasan yang menggunakan campuran beton semen portland sebagai lapisan utama yang berfungsi untuk meyalurkan beban kendaraan ke tanah dasar. Perkerasan kaku memiliki modulus elastisitas yang tinggi, sehingga mampu menyebarkan beban secara 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.

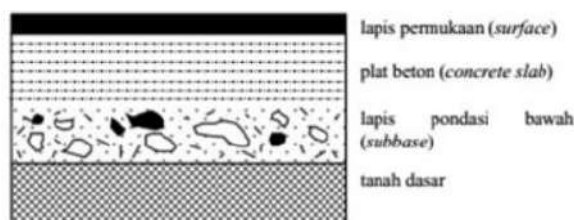


Gambar 2. 2 Lapisan Perkerasan Kaku

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 terdiri atas beberapa lapisan yang masing-masing memiliki fungsi 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 merupakan lapisan paling atas yang bersentuhan langsung dengan kendaraan. Material yang digunakan biasanya berupa aspal panas (*hot mix*). Lapisan ini berfungsi untuk memberikan kenyamanan berkendara, ketahanan terhadap air, serta melindungi lapisan-lapisan di bawahnya dari beban dan pengaruh lingkungan. Kualitas dan ketebalan lapisan permukaan sangat menentukan umur layanan perkerasan.

2.3.2 Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)

Fungsi lapisan pondasi atas adalah untuk mendistribusikan beban lebih lanjut dari lapisan permukaan ke lapisan pondasi bawah atau langsung ke 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. Dalam beberapa kasus, *subbase* tidak diperlukan jika tanah dasar sudah memiliki daya dukung yang cukup.

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 adalah cairan lengket yang berwarna hitam kental yang berfungsi sebagai bahan pengikat agregat dan pengisi yang kerap digunakan untuk membangun dan memelihara 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. Ini akan membuat penerapan aspal lebih mudah. Untuk memastikan bahwa proses pengerjaan aspal berhasil, berbagai macam campuran aspal dapat digunakan untuk memenuhi berbagai persyaratan, seperti jumlah lalu lintas, jumlah kendaraan berat, suhu, kondisi cuaca, dan persyaratan pengurangan kebisingan. Campuran aspal yang digunakan harus memiliki kekuatan, kekakuan, dan ketahanan terhadap deformasi yang cukup untuk menahan beban roda kendaraan (Seminar Nasional Keinsinyuran (SNIP), t.t.). Berikut campuran aspal yang dapat 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 dari aspal, bahan pengisi, agregat kasar, dan 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 atas struktur perkerasan yang mengenai langsung ke roda kendaraan disebut dengan laston sebagai lapisan aus atau biasa disebut dengan *Asphalt Concrete-Wearing Course*. Menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 lapisan ini memiliki ketebalan minimum 4 cm dan dibuat untuk beradaptasi dengan perubahan kondisi cuaca, gaya geser, dan tekanan ban kendaraan serta menyediakan lapisan yang tidak terkontaminasi oleh air untuk lapisan di bawahnya. 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 terletak di bawah lapisan aus (AC-WC) dan di atas lapisan pondasi (*Concrete-Base*) yang berfungsi sebagai pengikat antara lapisan atas dan bawah. Lapisan ini biasa disebut dengan lapisan antara. Menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 lapisan ini memiliki ketebalan minimum 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. Menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 lapisan ini memiliki ketebalan minimum 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
Kekakuan 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)		
		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
¾"	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. Ketika diuji dengan pengayakan sesuai SNI ASTM C13: 2012 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No. 200 (75 mikron) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya.

2.5 Sifat Bahan Tambah Pada Aspal

2.5.1 Karakteristik *Fly Ash*

Fly ash adalah abu halus sisa 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 dunia teknik sipil, fly ash sering digunakan sebagai bahan tambah (additive) pada campuran beton atau 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: Mengandung silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3), dan 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/cm^3 , 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, terutama bila digunakan dalam campuran aspal beton jenis 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* banyak dimanfaatkan sebagai bahan pengisi (*filler*) pada campuran beton dan campuran aspal, termasuk dalam struktur lapis aspal beton seperti AC-WC. Berikut beberapa manfaat penggunaan *fly ash*:

1. Meningkatkan Stabilitas Campuran

Penambahan *fly ash* dalam campuran aspal dapat meningkatkan nilai stabilitas Marshall karena partikel halusnya mampu mengisi rongga antar agregat sehingga campuran menjadi 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 adalah perbandingan antara stabilitas dan flow. Penggunaan fly ash membantu menghasilkan nilai MQ yang lebih tinggi, artinya campuran tidak hanya kuat tapi juga kaku dan stabil terhadap deformasi.

2.5.3 Karakteristik Abu Sekam

Abu sekam padi (ASP) adalah materi hasil 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 lebih ramah lingkungan dan ekonomis karena berasal dari limbah pertanian dan mengurangi kebutuhan bahan pengisi konvensional.

Karakteristik Abu Sekam meliputi :

1. Peningkatan Stabilitas Campuran Aspal

Penambahan ASP sebagai filler dalam campuran aspal, seperti AC-WC, dapat meningkatkan nilai stabilitas Marshall. 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 memiliki kandungan silika (SiO_2) yang 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.

Sementara itu, dalam konteks perkerasan jalan, Abu Sekam Padi sangat efektif digunakan sebagai filler dalam 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 SEBA GAI FILLER DALAM, t.t.).

2.6 Metode Pengujian Marshall

Pengujian *Marshall Test* adalah metode untuk mengukur kekuatan aspal. Bruce Marshall menciptakan rancangan campuran berdasarkan metode *Marshall* yang distandarisasi oleh 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 dan *flowmeter* untuk mengukur kelelahan 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 mencakup beberapa tahap, yaitu pembuatan benda uji, pengukuran berat jenis bulk, pengujian stabilitas dan flow, serta analisis sifat volumetrik campuran. Selain alat utama berupa Marshall Stability Test Apparatus, dibutuhkan juga alat tambahan seperti *Water Bath* yang digunakan untuk merendam sampel pada suhu tertentu sebelum dilakukan pengujian.

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 stabilitas (*stability*), kelelehan (*flow*), *marshal quotient* (MQ), *VITM* (*Void In The Total Mix*), *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*), *VMA* (*Void in Mineral Aggregate*) dan kepadatan (*density*).

1. Stabilitas (*stability*)

Stabilitas mengacu pada kemampuan campuran aspal untuk menahan beban vertikal tanpa mengalami kerusakan atau deformasi. 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. Marshal Quotient (MQ)

Marshal Quotient (MQ) adalah 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 adalah 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 adalah persentase ruang kosong yang terisi oleh aspal dalam campuran. Ini menunjukkan seberapa efektif aspal mengisi ruang kosong di antara 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 terisi oleh aspal. VMA yang tepat sangat penting untuk memungkinkan pergerakan air dan material, serta memberikan stabilitas.

Rumus untuk mengetahui berat campuran total:

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

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

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. Analisis parameter-parameter ini penting untuk memastikan bahwa campuran aspal memenuhi spesifikasi yang diperlukan untuk aplikasi 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 meningkatkan kualitas aspal dengan mencampurkan <i>Asphalt</i> <i>Concrete wearing course</i> (AC-WC) dengan <i>fly ash</i> dan <i>Rubber Waste</i> .	<i>Marshall test</i>	Hasil job mix formula yang memenuhi dari parameter marshall kecuali nilai flow yaitu F6R2 (fly ash 6% dan rubber waste 2%) dan F6R1 (fly ash 6% dan rubber waste 1%). Pada variasi F6R2 memiliki nilai rongga udara (VIM) 3,04%, nilai rongga diantara agregat (VMA) 19,86%, rongga terisi aspal

						(VFB) 84,78%, stabilitas 804,99 kg, kelelehan (flow) 8,53 mm, dan marshall quention (MQ) 64,53 kg/mm dan untuk variasi F6R1 memiliki nilai rongga udara (VIM) 4,87%, nilai rongga diantara agregat (VMA) 19.03%, rongga terisi aspal (VFB)74,55%, stabilitas 814.81 kg, kelelehan (flow) 10,18mm, dan marshall quention (MQ) 51,09 kg/mm.
2	2023	F Mubarak, <u>M Solikin</u> , <u>S Sunarjono</u>	Perbandingan Tingkat Kehalusan Fly Ash Terhadap Durabilitas dan	Untuk mendapatkan <i>fine fly ash</i> , dilakukan proses <i>filtering fly ash</i> dengan	<i>Self Compacting Concrete</i> (SCC).	Pengujian <i>X-Ray Fluorence</i> dilakukan untuk mengetahui penentuan jenis dan perbandingan

			Sifat Mekanis <i>High Volume Fine Fly Ash Self Compacting Concrete</i>	saringan air berukuran $\pm 10 \mu\text{m}$.		kandungan kimiawi <i>raw fly ash</i> dan <i>fine fly ash</i> dan juga untuk mengetahui apakah ada reaktivitas <i>fly ash</i> dengan air pada saat proses penyaringan <i>fly ash</i> dengan saringan air.
3	2019	H Haris	Analisis Pengujian Stabilitas dan Durabilitas Campuran Aspal dengan Tes Perendaman	Mengetahui komposisi campuran AC-WC, dengan menggunakan bahan alam kapur padam dan debu batu, pasir alam serta agregat sungai Tinigi Tolitoli, sehingga dapat di ketahui Kadar Aspal Optimum (KAO).	<i>Marshall Test</i>	Dari hasil penelitian pemanfaatan agregat sungai (debu batu dan kapur padam) sebagai <i>filler</i> yang ada di Kabupaten Tolitoli Provinsi Sulawesi Tengah terhadap pengaruh stabilitas dan durabilitas pada campuran aspal panas AC-WC gradasi halus dengan Menggunakan aspal Pertamina Pen.

						60/70, di Laboratorium Teknik Transportasi Universitas Gadjah Mada dapat diambil beberapa kesimpulan 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 mengetahui nilai durabilitas dan nilai marshall dari campuran aspal jika menggunakan <i>filler</i> abu cangkang kelapa sawit dan dengan variasi waktu perendaman 30 menit, 24 jam, 48 jam dan 96 jam.	<i>Marshall Test</i>	Hasil uji durabilitas campuran aspal menggunakan <i>filler</i> abu cangkang kelapa sawit perendaman 24 jam memiliki nilai durabilitas tertinggi dibanding benda uji lainnya yaitu dengan nilai durabilitas sebesar 97% dan nilai stabilitas sebesar 1148,8 kg. Sementara itu, untuk benda uji lainnya yaitu pada

							waktu perendaman 48 jam memiliki nilai durabilitas sebesar 88,7% dan nilai stabilitas sebesar 1052 kg, dan benda uji dengan waktu perendaman 96 jam memiliki nilai durabilitas sebesar 69,2% dan nilai stabilitas sebesar 818 kg.
5	2018	Desi Buanti	Hari	Analisis Pengaruh Penggunaan <i>Fly Ash</i> dan <i>Asbuton</i> sebagai <i>filler</i> pada <i>Asphalt concrete wearing course</i> (AC-WC)	Mengetahui pengaruh <i>fly ash</i> dan <i>asbuton</i> sebagai <i>filler</i> pada campuran AC-WC terhadap nilai pengujian <i>VIM</i> , <i>VMA</i> , <i>VFB</i> .	metode uji perendaman (Immersion Test) selama 1 x 24 jam dengan suhu + 60 oC.	dapat disimpulkan bahwa dari 5 variasi <i>filler</i> yang digunakan, kadar <i>filler</i> 4% menjadi kadar yang optimum digunakan sebagai bahan pengisi

						pada campuran Split Mastic Asphalt berdasarkan nilai stabilitas, dimana nilai stabilitas tersebut memenuhi spesifikasi sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga yaitu untuk nilai stabilitas >670 kg.
--	--	--	--	--	--	--



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tipe Penelitian

Metode penelitian merupakan 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, yaitu metode yang digunakan untuk menguji 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 membandingkan hasil parameter Marshall dengan standar yang ditetapkan oleh Standar Nasional Indonesia dan Bina Marga 2010. Kegiatan penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang berlokasi 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 merupakan bahan-bahan material yang akan digunakan pada penelitian :

1. Penggunaan Material Agregat kasar, Agregat halus, yang digunakan berasal dari PT. Mohandas Oeloeng Kaliwungu.
2. Aspal yang digunakan yaitu Aspal Pen 60/70.

3. *Fly ash* yang dipergunakan sebagai material stabilisasi dengan kadar 0%, 1%, 3%, 5%
4. Abu Sekam Padi yang digunakam dengan kadar 0%, 2%, 4%, 6%

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 analisa saringan, 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

Uji berat jenis dilakukan untuk mendapatkan berat jenis efektif dari campuran aspal.

3. Alat Uji Abrasi Agregat

Sejumlah peralatan yang dipergunakan dalam melakukan pengujian terhadap agregat meliputi mesin *Los Angeles*, yang digunakan untuk menguji tingkat abrasi, ayakan standar untuk mengevaluasi gradasi agregat, perangkat pengering untuk oven, timbangan, serta alat uji berat jenis yang mencakup piknometer, timbangan dan pemanas. Selain itu, penggunaan bak peredaman dan tabung *Sand Equivalent* juga menjadi bagian dari proses pengujian.

4. Alat Uji Aspal

Peralatan pengujian aspal meliputi; alat uji kelarutan, timbangan dan piknometer yang merupakan alat uji dari berat jenis, alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji titik lembek, dan alat untuk menguji kelarutan

5. Alat Uji Marshall

Berikut merupakan alat yang digunakan pada pengujian *Marshall Test* :

- Mesin tekan lengkap dengan alat pembacanya.
- Kepala penekan.
- Cincin penguji.
- Arloji kelelahan.
- *Water Bath* lengkap menggunakan pengatur suhu minimal 30°C.
- Timbangan dengan penggantungan benda uji dan bak air.

3.3 Pengumpulan Data

Penelitian ini tidak lepas dari pengumpulan berbagai data. Untuk Pengumpulan data yang dilakukan ada 2 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. Membuat rancangan campuran *AC-WC* sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2010
4. Mencari Kadar Aspal Optimum dan Variasi Komposisi *Fly Ash* dan Abu Sekam yang digunakan 0%, 1%, 3%, 5% dan 0%, 2%, 4%, 6%
5. Pengujian benda uji dengan *Marshall Test* untuk mengetahui nilai Stabilitas, *Flow*, VIM, VMA, VFA, MQ dari benda uji yang telah dibuat.
6. Analisa dan Pembahasan
Melakukan analisa benda uji dari campuran *fly ash* dan Abu Sekam Padi dengan pengujian *Marshall Test* dan mendapatkan parameter nilai (*Stability, Flow*, VIM, VMA, VFA, MQ).
7. Kesimpulan dan Saran
Penarikan kesimpulan dapat dilakukan setelah semua pengujian telah dilakukan, lalu hasil analisa dan pembahasan dapat diuraikan oleh peneliti sehingga dapat ditarik kesimpulan dan saran. Nilai dari percobaan di laboratorium baik dari uji material hingga dengan pengujian sampel yang telah dibuat, kemudian nilai yang didapat tersebut dianalisa dan ditunjukkan dalam bentuk grafik dan tabel terhadap tiap parameter nilai karakteristik marshall (*Stability, Flow*, VIM, VMA, VA, 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 karakteristik agregat kasar dan agregat halus ini memiliki tujuan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat kasar, agregat sedang, dan agregat halus.

3.5.2 Pemeriksaan sifat fisis aspal

Pengujian aspal sebagai bahan bitumen yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan 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%, 1%, 3%, 5% Dapat dilihat variasi jobmix campurannya pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Job Mix Design Aspal Beton Normal

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
		100%	1200 g
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%

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	4%	19,2
Jumlah Sample			3
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
Jumlah Sample			3
Total			1228,8

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
Total		100%	1200
	Bahan Tambah		
	Fly Ash	1%	4,8
	Abu Sekam	0%	0
Jumlah Sample		3	
Total		1204,8	

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	

Tabel 3. 7 Job Mix Design Aspal Beton dengan Fly Ash 1% 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	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

Masing – masing benda uji yaitu 3 buah benda uji untuk perbandingan setiap benda uji dimana jika salah satu benda uji ada yang tidak memenuhi spesifikasi teknik Bina Marga tahun 2018 revisi 2 dan 2 benda uji lainnya memenuhi spesifikasi teknik Bina Marga tahun 2018 revisi 2 maka benda uji dapat dibandingkan hasilnya.



Tabel 3. 17 Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum

Nama Sampel	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

UNISSULA
جامعة سلطان أبوبوع الإسلامية

3.7 Bagan Alur Penelitian



Gambar 3. 1 Bagan Alur Penelitian

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. Semua proses pengujian material, pembuatan sampel benda uji, dan *Marshall Test* dilakukan di laboratorium transportasi jalan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.



Gambar 4. 1 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. Tujuan dari pengujian material adalah untuk memastikan bahwa material tersebut memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan, sehingga dapat digunakan dengan aman dan efektif.

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

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

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

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Spesifikasi		Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Keterangan
			Min	Max			
1	Penetrasi 25°C, 100 g, 5 detik	0,1 mm	60	70	65	SNI 2456:2011	Memenuhi
2	Titik Lembek 5°C (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 menunjukkan hasil pengujian aspal pen 60/70 memenuhi persyaratan spesifikasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua material memenuhi persyaratan dan dapat digunakan sebagai campuran aspal *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC). Pengujian penetrasi menghasilkan nilai yang berada dalam rentang yang disyaratkan. Secara keseluruhan, hasil pengujian ini mengkonfirmasi bahwa aspal pen 60/70 meningkatkan daya tahan dan stabilitas.

4.2.2. Pengujian Gradasi *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 memenuhi persyaratan dan dapat digunakan sebagai campuran aspal AC-WC. Untuk *filler* menggunakan Semen *Portland* (PC). Jika tidak memenuhi spesifikasi atau persyaratan, material tidak dapat digunakan atau diganti dengan material yang mempunyai hasil uji lebih baik.

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

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Menurut data analisa saringan agregat kasar dari *Hot Bin II* menunjukkan 100% agregat lolos saringan ¾", dan tertahan mulai dari saringan 1/2", ini menunjukkan bahwa material memiliki standar yang sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Agregat yang lolos saringan 1/2" memberikan hasil 47,95%. Sampel analisis saringan medium 5,10% lolos saringan 3/8" dan 1,23% lolos pada saringan #4.

4.2.4. Pengujian Gradasi *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 menentukan gradasi agregat pada lapisan *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dengan ukuran maksimal 1/2".

Tabel 4. 4 Hasil Analisa Pembagian Butiran Hot Bin III

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

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

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

4.2.5. Pengujian Gradasi *Aggregate Hot Bin IV*

Pengujian Gradasi Agregate *Hot Bin IV* melibatkan material agregat Halus yang lolos saringan 1 1/2" hingga nomor #4 dan tertahan dari saringan nomor #8. Berdasarkan peraturan dari (SNI ASTM C136:2012), hasil gradasi agregat ditunjukkan pada Tabel 4.5. Untuk menentukan gradasi agregat pada lapisan

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

Tabel 4. 5 Hasil Analisa Pembagian Hot Bin IV

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

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

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

4.2.6. Pengujian Pasir

Kualitas pasir yang digunakan dalam campuran aspal sangat penting untuk memastikan performa dan daya tahan dari struktur perkerasan. Oleh karena itu, pasir tersebut harus melalui proses pengujian gradasi untuk menentukan kesesuaiannya dengan standar yang ditetapkan. Pasir yang memenuhi standar, yaitu yang lolos saringan 1 ½" hingga saringan No. #30 dan tertahan mulai dari saringan

No. #50. Tabel 4.6 menunjukkan hasil pengujian gradasi pasir berdasarkan peraturan dari (SNI ASTM C136:2012).

Tabel 4. 6. Hasil Analisa Pembagian Butiran Pasir

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

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Menurut data analisa saringan agregat halus pasir menunjukkan bahwa 100% agregat lolos saringan No. #30 dan tertahan mulai dari saringan No. #50. Agregat yang lolos saringan No. #50 mempunyai hasil 38,20%. Selain itu 10,40% termasuk agregat yang lolos saringan No. #100. Secara keseluruhan, hasil analisa saringan ini menunjukkan bahwa material yang digunakan memenuhi spesifikasi yang ditentukan dalam standar (SNI ASTM C136:2012). Kesesuaian ini sangat penting untuk memastikan bahwa campuran aspal yang dihasilkan memiliki kualitas yang tinggi, mampu mendukung beban lalu lintas, dan tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan.

4.2.7. Pengujian *Filler* (Semen)

Pengujian dilakukan pada semen untuk memastikan kualitas semen sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Semen adalah material yang digunakan sebagai *filler* pada komposisi aspal, semen yang digunakan adalah Semen Portland yang lolos saringan No. #8 hingga #100 dan tertahan pada saringan No. #200 adalah semen

yang digunakan. Tabel 4.7. menunjukkan hasil gradasi berdasarkan peraturan dari (SNI ASTM C136:2012).

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

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

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada analisa saringan menunjukkan bahwa *filler* terbagi pada setiap saringan, pada setiap tabel pembagian butiran jenis material *filler* lolos saringan No. 1” sampai No. #100, dan *filler* hanya akan tertahan pada saringan No. #200 dengan hasil 98,20%. Secara keseluruhan, hasil analisa saringan ini menunjukkan bahwa material yang digunakan memenuhi spesifikasi yang ditentukan dalam standar (SNI ASTM C136:2012). Kesesuaian ini sangat penting untuk memastikan bahwa campuran aspal yang dihasilkan memiliki kualitas yang tinggi, mampu mendukung beban lalu lintas, dan tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan.

4.2.8. 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 memberikan hasil 87%. Secara keseluruhan, hasil analisa saringan ini menunjukkan bahwa material yang digunakan memenuhi spesifikasi yang ditentukan dalam standar (SNI ASTM C136:2012). Kesesuaian ini sangat penting untuk memastikan bahwa campuran aspal yang dihasilkan memiliki kualitas yang tinggi, mampu mendukung beban lalu lintas, dan tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan.

4.2.9. Hasil Perhitungan Kombinasi Agregat

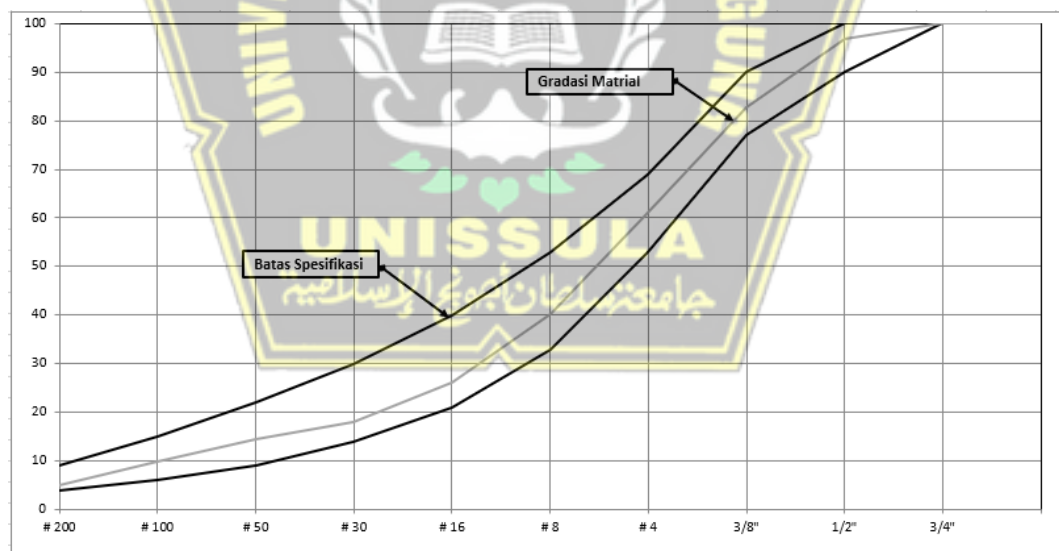
Kombinasi agregat adalah proses penyatuan atau penggabungan material menjadi satu kesatuan yang lebih utuh. Proses ini terdiri dari masing-masing material agregat yang lolos dari saringan 3/4" dan tertahan mulai dari saringan 1/2" sampai dengan saringan No. #200. Dalam kombinasi agregat juga termasuk *Hot Bin II*, *Hot Bin III*, *Hot Bin IV*, Pasir, *Filler* (Semen), dan *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 menunjukkan bahwa pengujian analisa kombinasi agregat memiliki prosentase lolos saringan dari No. #200 hingga 1". Hasil pengujian tidak boleh melewati batas atas atau batas bawah sesuai dengan standar yang tersedia. Jika

terdapat agregat yang melewati salah satu batas, agregat tersebut tidak diizinkan untuk digunakan sebagai material pengisi pada AC – WC, karena tidak sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

4.3. Hasil Perhitungan Kombinasi

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

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

Pengujian berat jenis campuran aspal bertujuan untuk menentukan kepadatan dari campuran aspal. Pengujian ini penting untuk mengevaluasi kualitas dan kesesuaian campuran aspal dengan standart yang sudah ada. Untuk mementukan 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 mengetahui komposisi campuran aspal, sampel dari benda uji diambil. Temperatur di mana aspal dicampur dengan agregat menunjukkan viskositas kinematis 170/20 centikotes, dan suhu di mana aspal dipadatkan menunjukkan viskositas kinematis 280/30 centikotes.

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

4.4.3. Ringkasan Hasil Pengujian

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

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

Tabel 4.14. menunjukkan informasi tambahan tentang berat aspal dan berat agregat pada kadar aspal yang digunakan dalam perencanaan ini.

Tabel 4. 12. Komposisi Material AC - WC

No	Jenis Material	Komposisi	Berat	Kumulatif
			g	g
1	<i>Medium Aggregate</i> ¾"	25,0%	300,0	300,0
2	<i>Coarse Aggregate</i> ½"	25,0%	300,0	600,0
3	Abu Batu	40,0%	480,0	1080,0
4	Pasir	3,0%	36,0	1116,0
5	Filler	1,2%	14,4	1130,4
6	Aspal	5,8%	69,6	1200,0

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

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

4.5. Pembuatan Benda Uji

Setelah hasil pengujian kadar aspal optimum (KAO) mendapatkan hasil kadar aspal terpilih 5,8% benda uji dibuat, dengan modifikasi limbah *Fly Ash* (subtitusi 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

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

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

Pemeriksaan berat jenis campuran (GMM) digunakan untuk menghitung kepadatan dan tingkat pemadatan. Dan termasuk parameter penting dalam proses kotrol 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 4.14 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	Gmm	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	Gmm	856	856	856	856	856	856	856	856	856	856	856	856
3	Berat Contoh (1 - 2)	Gmm	540	540	520	520	500	500	515	515	510	510	500	500
4	Berat Botol + Contoh + Air	Gmm	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	Gmm	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)	Gmm	309	309	314	314	276	276	274	274	259	259	261	261
7	Volume contoh (3 - 6)	Gmm	231	231	206	206	224	224	241	241	251	251	239	239
8	Max Specific Gravity (Gmm) (3 : 7)	Gmm / 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	Gmm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu	Gmm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm) (8 x 10)	Gmm / 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 4.16 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 mendapatkan data stabilitas dan *flow* (kelelehan).

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

Hasil setelah pemeriksaan *Marshall Test* berupa rekapitulasi yang tertera pada sebuah tabel dan dalam bentuk grafik dari seluruh nilai parameter yang dapat dilihat pada tabel di bawah. Pengujian telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Hasil yang diperoleh dari proses pengujian dibagi dalam 3 komposisi yaitu, komposisi normal, komposisi dengan kombinasi bahan tambah *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* yang diperoleh dari masing-masing komposisi dapat dilihat secara rinci pada Tabel 4.17. 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. 17. Hasil Marshall Komposisi Fly Ash 0% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

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 sesuaikan	hasil bagi plastis (flow) 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)
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 4.2 dengan rumus:

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

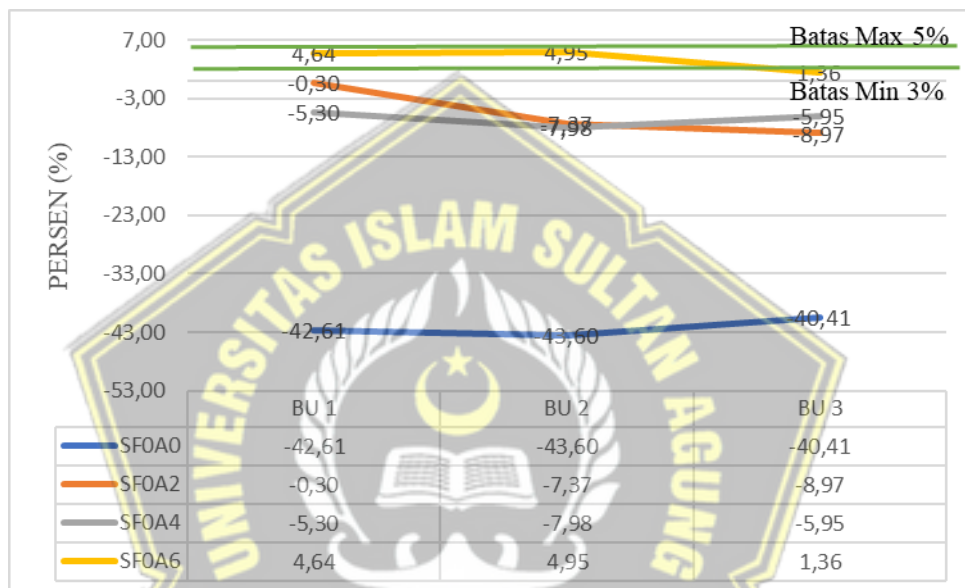
Keterangan:

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)

Dari Tabel 4.17 diperoleh nilai hasil dari parameter *Marshall Test* mendapatkan hasil yang bervariasi sesuai dengan 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 4.3 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)

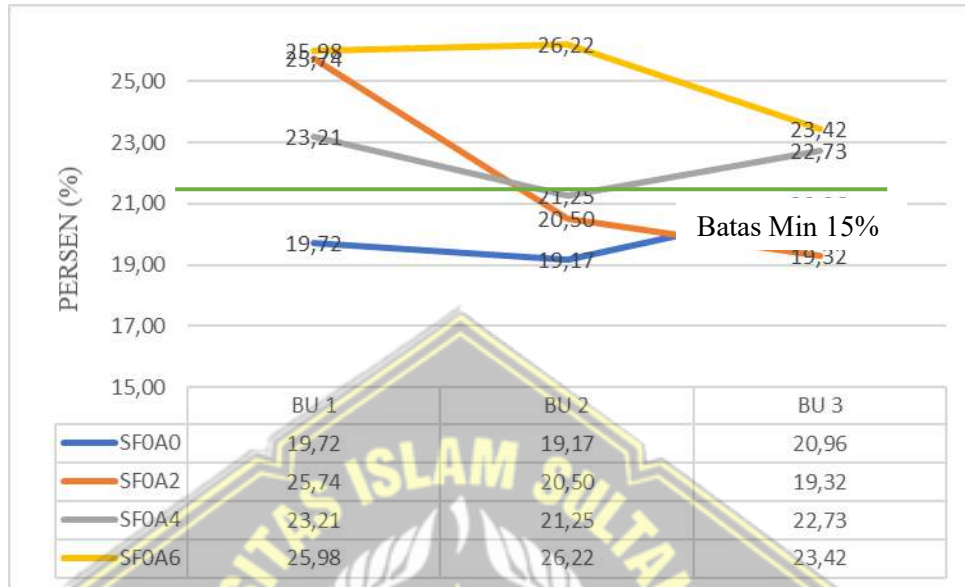
Gsb = Berat jenis *bulk* agregat (gr/cm³)

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 4.4 dengan rumus

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

Keterangan:

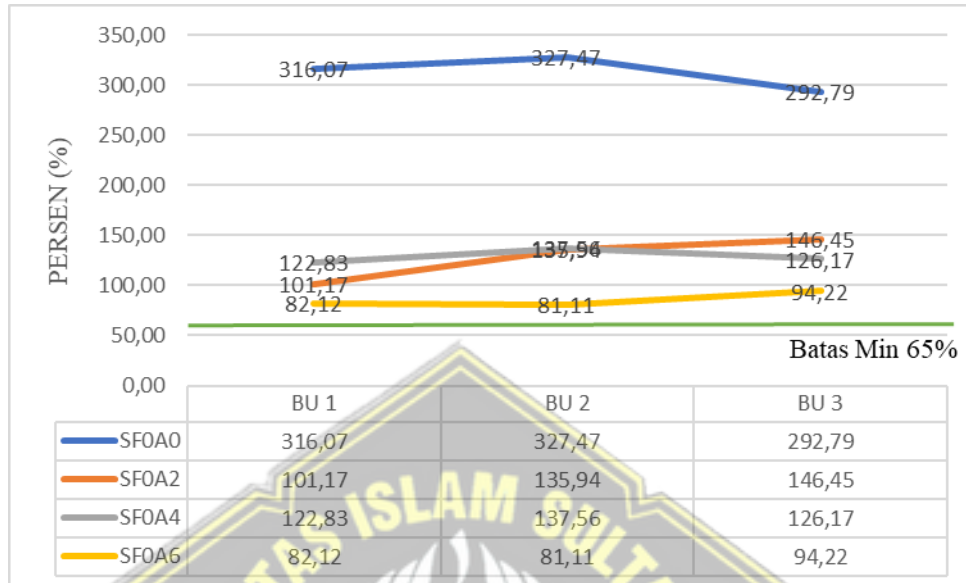
VFB = Persentase volume ruang kosong dalam campuran aspal (%)

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 4.5 dengan rumus stabilitas:

$$S = p \times q$$

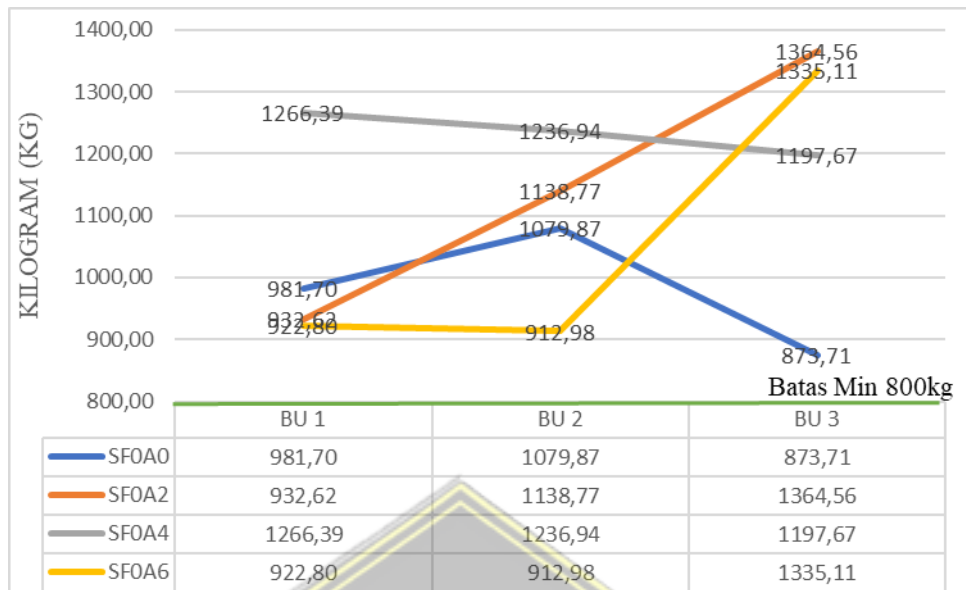
Keterangan:

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. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Adapun nilai spesifikasi minimum untuk stabilitas menurut Bina Marga adalah 800 kg. Dengan demikian, semua nilai stabilitas yang dihasilkan dari percobaan ini tidak hanya memenuhi, tetapi sudah cukup melampaui batas minimum yang ditentukan.



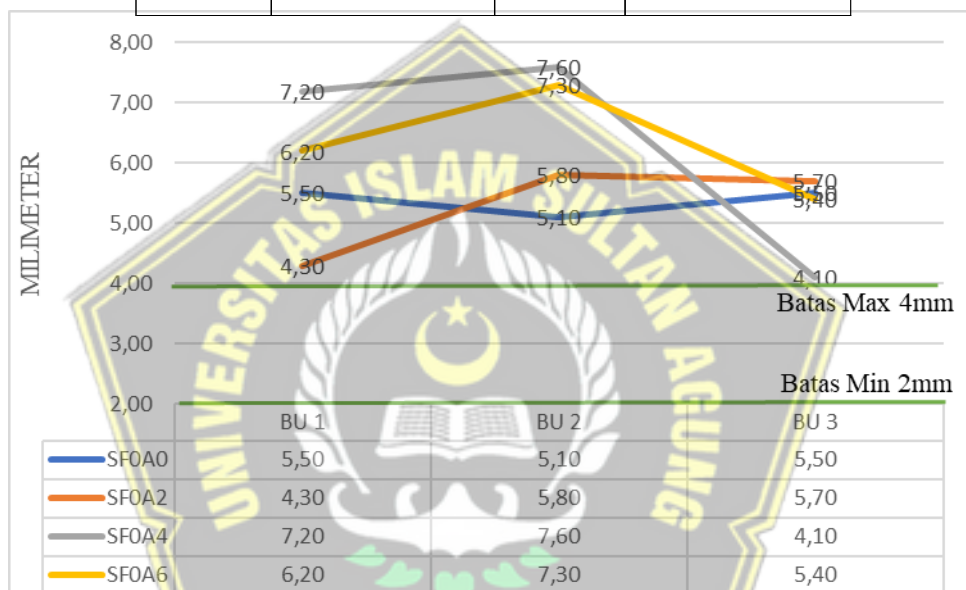
Grafik 4. 5. Stabilitas untuk Komposisi Fly Ash 0% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.6 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 benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi *flow* dari Bina Marga yaitu minimum dengan angka 2,00 milimeter dan untuk nilai maksimum dengan angka 4,00 milimeter.

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 4.7 dengan rumus

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

Keterangan:

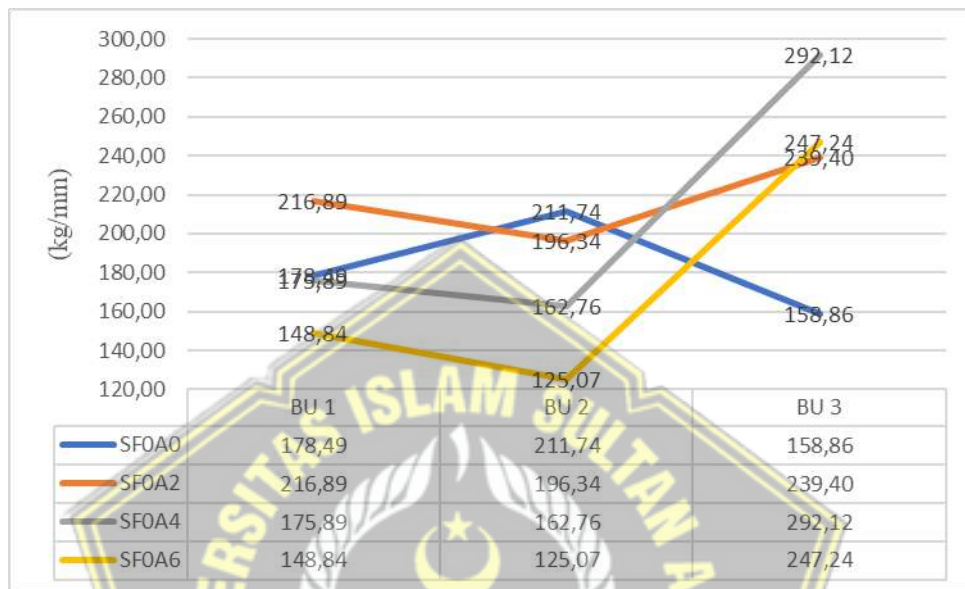
MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm)

MS = *Marshall Stability* (kg)

MF = *Flow Marshall* (mm)

nilai *Marshall Quotient* yang dihasilkan campuran *Fly Ash* substitusi abu batu dengan kadar 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 4. 18.

Tabel 4. 18 Rekap Hasil Rata-Rata Komposisi *Fl Ash* 0% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, 6%

Uraian	Kadar Bahan Tambah <i>Fly Ash</i>	Kadar Bahan Tambah Abu Sekam	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 4.18. Tabel ini menyajikan informasi penting mengenai parameter-parameter seperti VMA, VIM, VFB, stabilitas, *flow*, dan nilai

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

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

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

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 sesuaikan	hasil bagi plastis (flow) 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)
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

Dari Tabel 4.8 dengan rumus:

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

Keterangan:

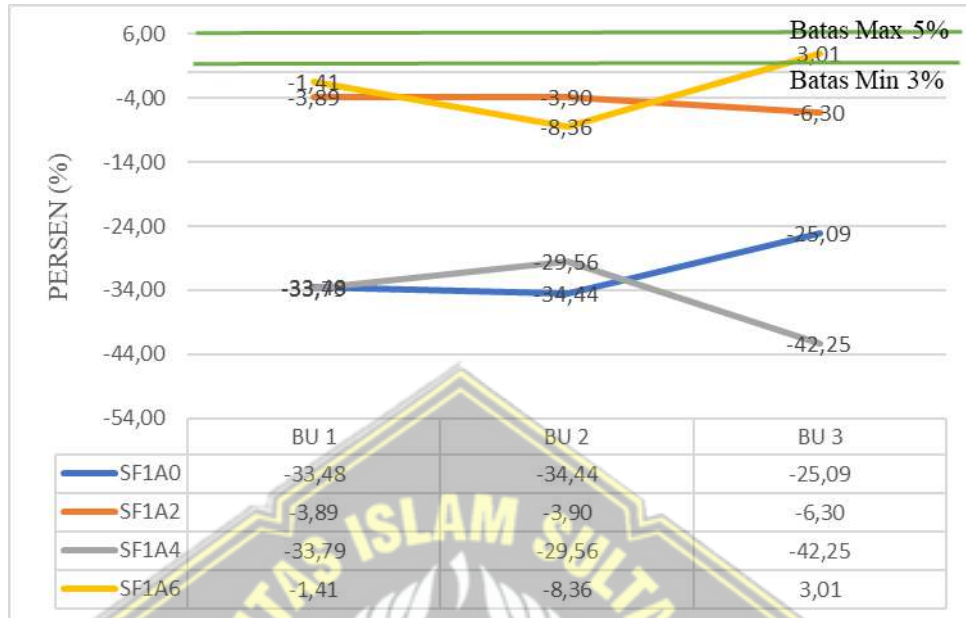
VIM = Setelah pemadatan, rongga udara pada campuran diambil dari persentase volume total (%)

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 4.9 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 (%)

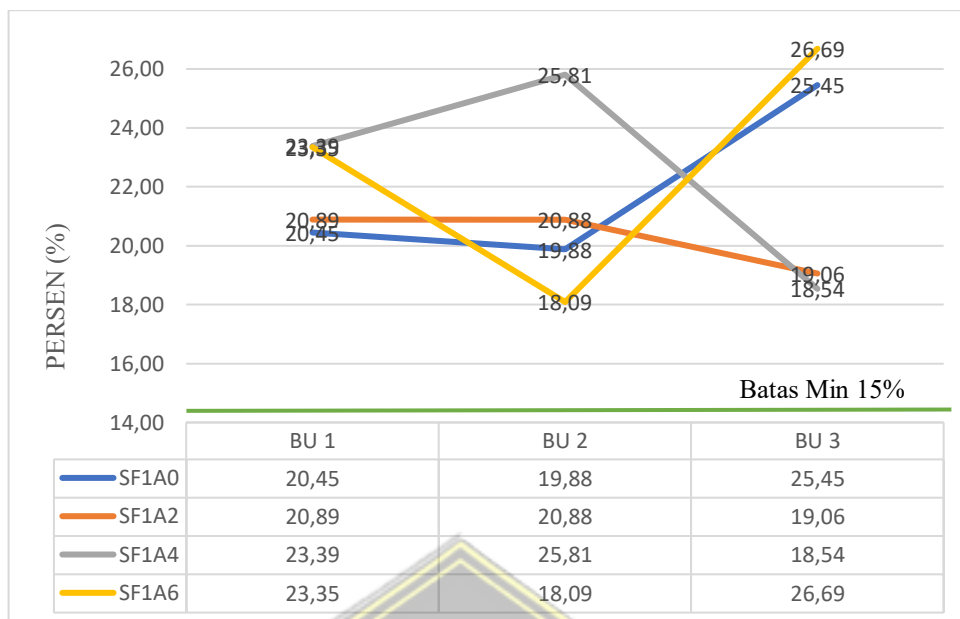
Gmb = Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cm³)

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 4.10 dengan rumus

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

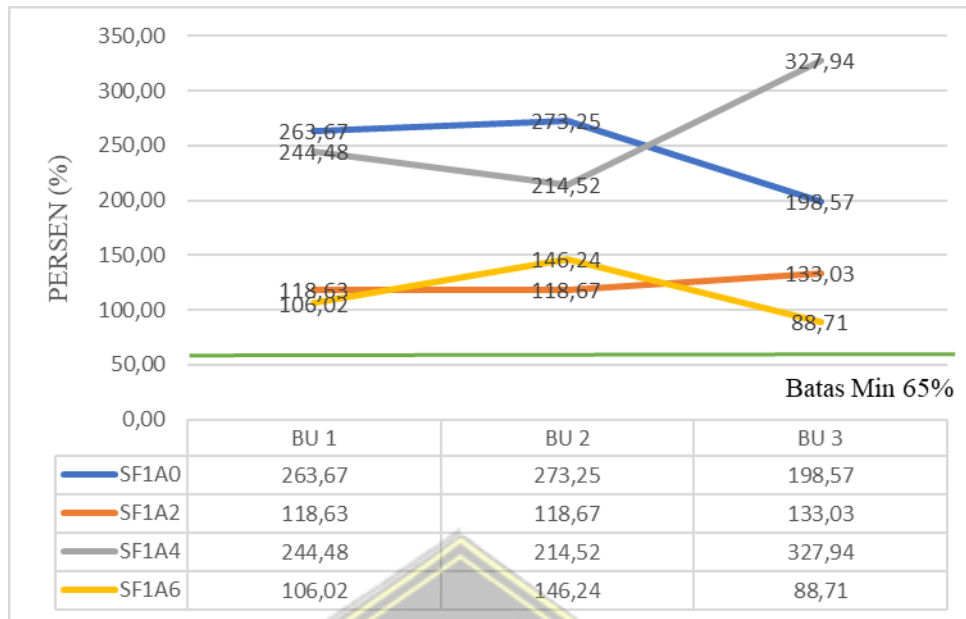
Keterangan:

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 4.11 dengan rumus stabilitas:

$$S = p \times q$$

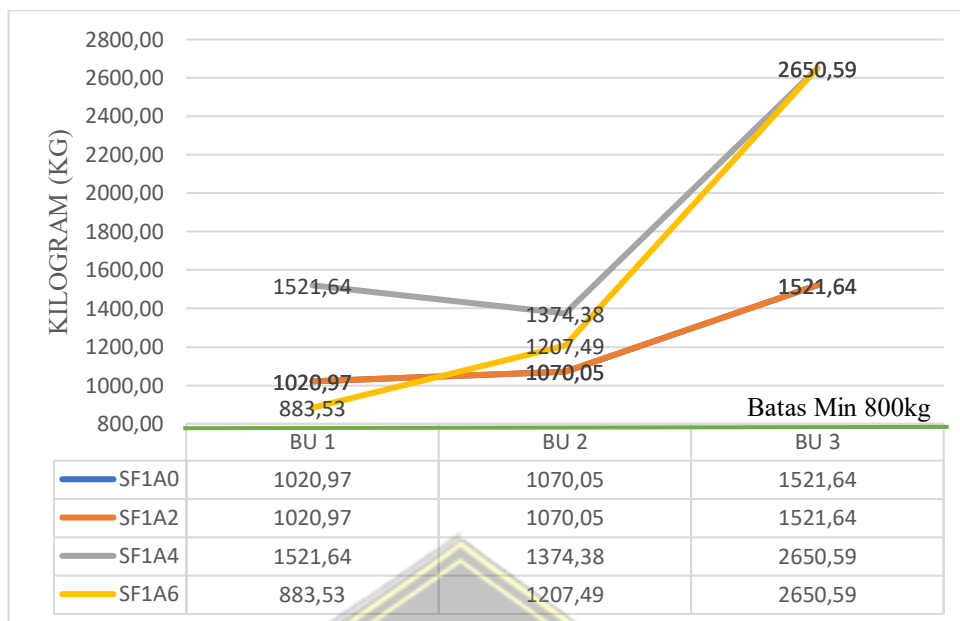
Keterangan:

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.



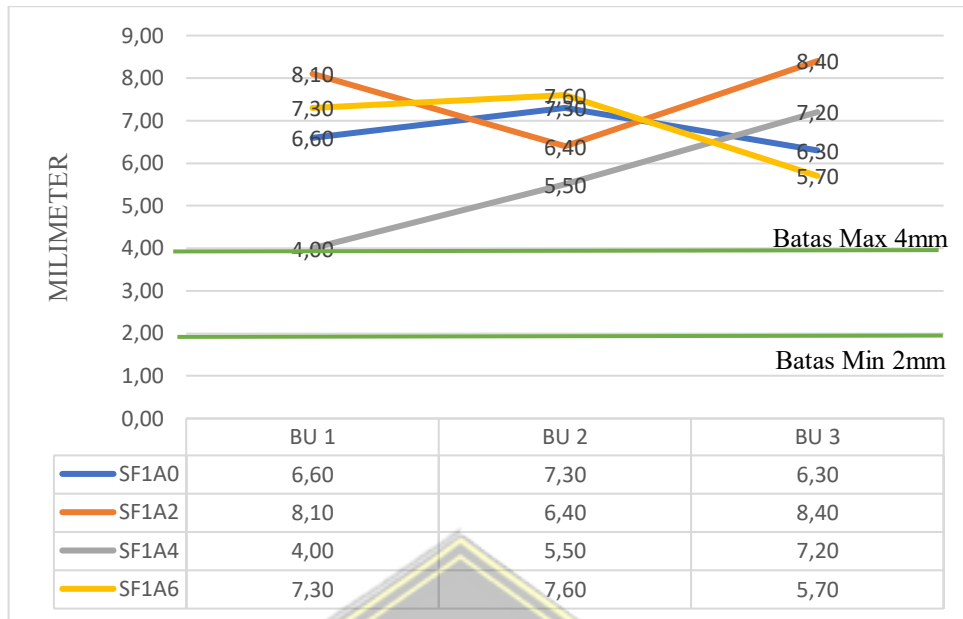
Grafik 4. 11. Stabilitas untuk Komposisi Fly Ash 1% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.12 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. 13 dengan rumus

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

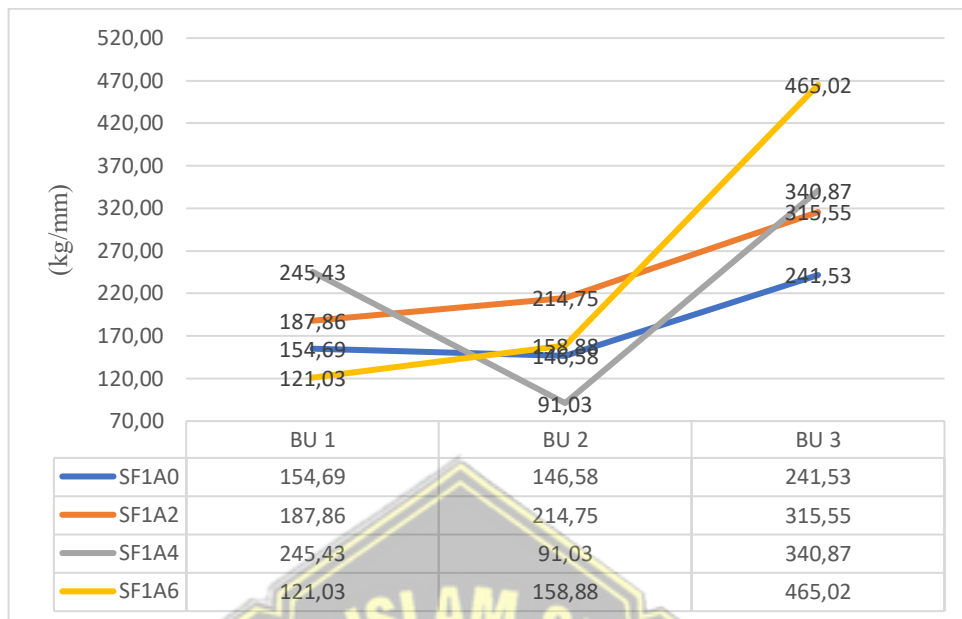
Keterangan:

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 dalam kondisi sesuai spesifikasi dan tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan yang dihasilkan dari parameter *Marshall Test* yang memperoleh hasil yang berbeda-beda, yang direpresentasikan secara rinci dalam Tabel 4.19. Tabel tersebut menyajikan data yang menggambarkan parameter-parameter penting seperti VMA, VIM, VFB, stabilitas, *flow*, dan nilai *Marshall Quotient*, yang semuanya merupakan indikator kunci dalam menentukan kualitas dan daya dukung campuran.

Tabel 4. 20. Rekap Hasil Rata-Rata Komposisi Fly Ash 1% 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)	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
Kelelahan 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
Kelelahan 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
Kelelahan 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
Kelelahan 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 4.20. Tabel ini menyajikan informasi penting mengenai parameter-parameter seperti VMA, VIM, VFB,

stabilitas, *flow*, dan nilai *Marshall Quotient*, yang merupakan indikator kunci dalam mengevaluasi performa campuran.

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

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 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)
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	108,88
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	307,60
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	140,66
Rata-rata	5,8					2,352	2,140	19,41	-9,89	151,64	99,33	975,16	5,57	175,18
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	210,66
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	280,73
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	392,68
Rata-rata	5,8					2,341	2,240	19,77	-4,52	173,03	142,00	1394,01	4,83	288,42
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	214,19
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	155,56
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	1199,86
Rata-rata	5,8					2,301	2,338	21,14	1,55	102,06	176,33	1731,06	4,53	381,85
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	288,11
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	140,24
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	342,30
Rata-rata	5,8					2,209	2,524	24,30	12,49	48,82	156,67	1538,00	5,70	269,82

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Dari Tabel 4.14 dengan rumus:

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

Keterangan:

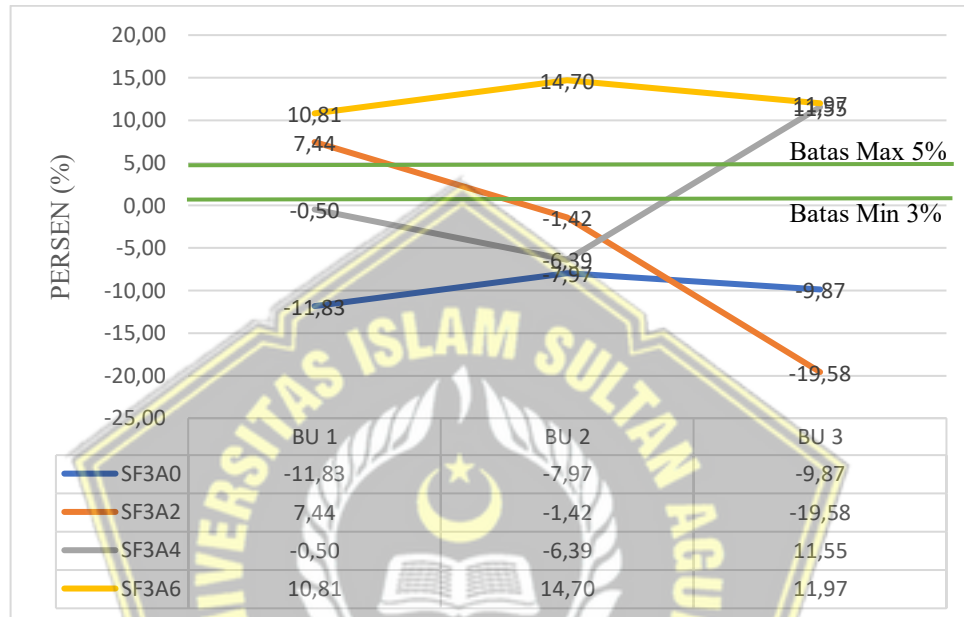
VIM = Setelah pemadatan, rongga udara pada campuran diambil dari persentase volume total (%)

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 4.22 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 4.15 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)

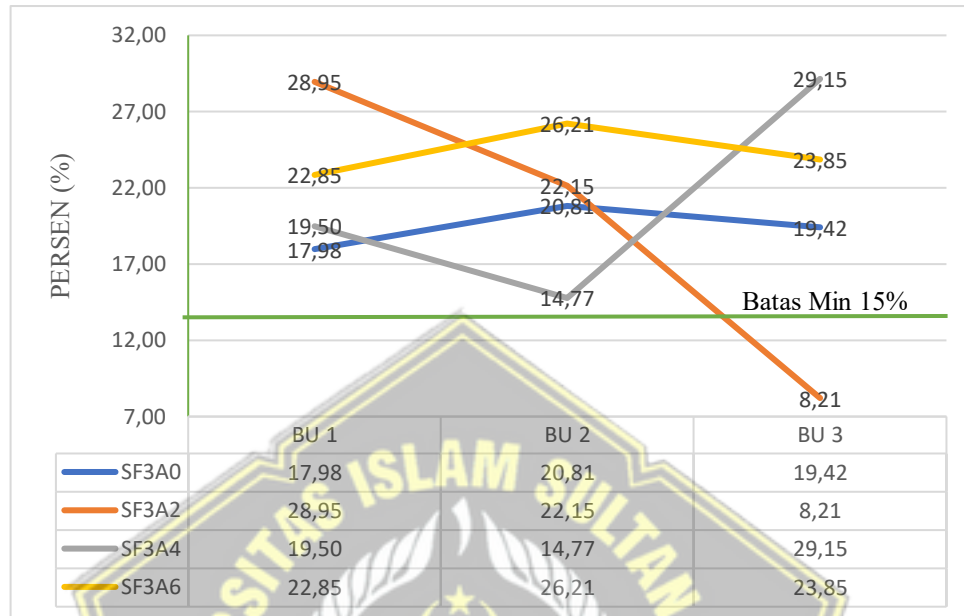
Gsb = Berat jenis *bulk* agregat (gr/cm³)

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

Pb = KAO (%)

nilai VMA (*Void in the Mineral Aggregate*) yang dihasilkan campuran *Fly Ash* dengan kadar 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 4.16 dengan rumus

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

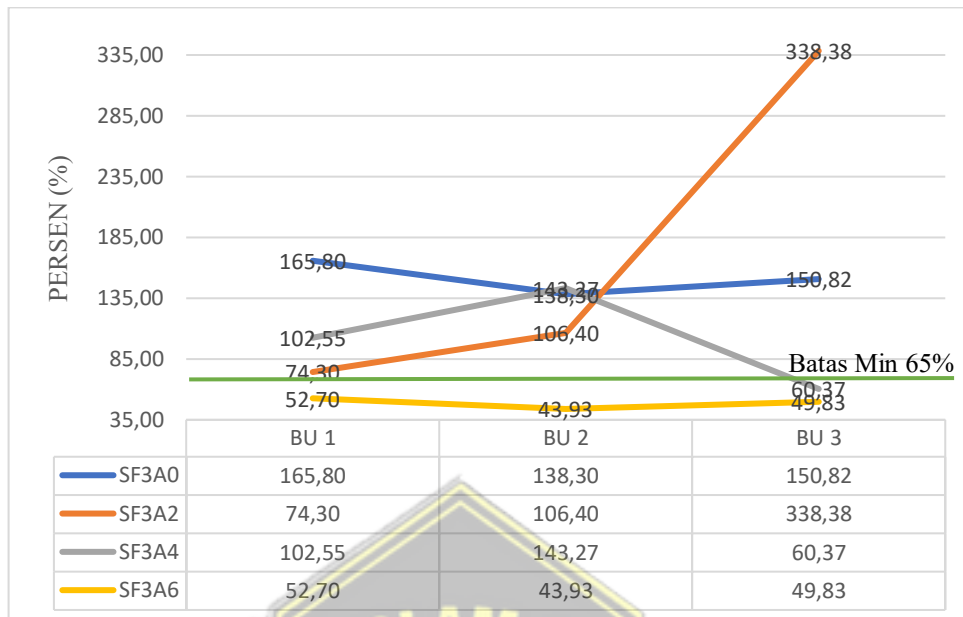
Keterangan:

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 4.17 dengan rumus

$$S = p \times q$$

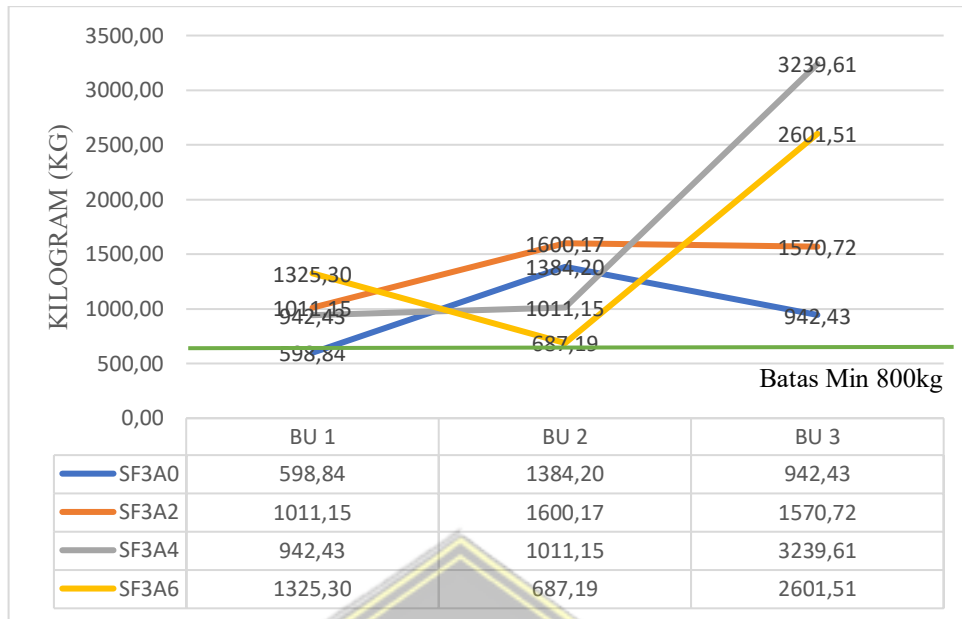
Keterangan:

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.



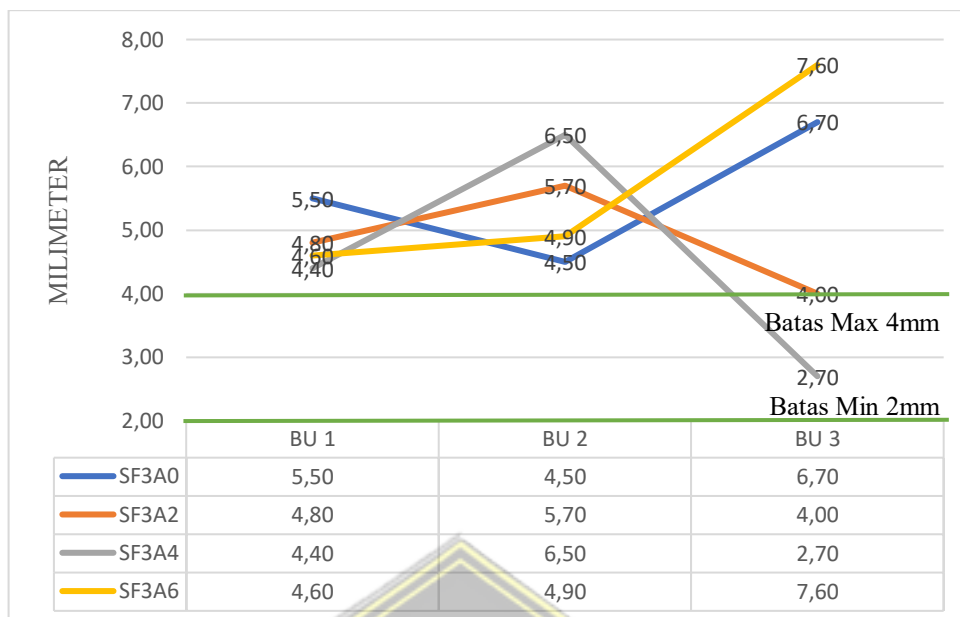
Grafik 4. 17. Stabilitas untuk Komposisi Fly Ash 3% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.18 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. 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 :

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 4.19 dengan rumus

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

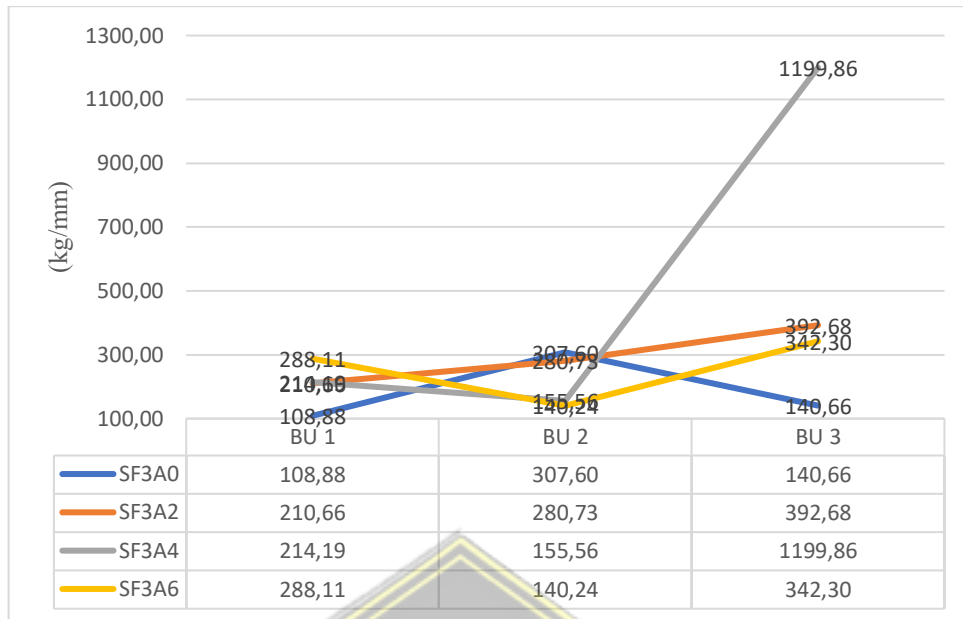
Keterangan:

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 sesuai spesifikasi dan tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan. dari hasil parameter *Marshall Test* yang memperoleh hasil yang berbeda-beda, yang direpresentasikan secara rinci dalam Tabel 4.21. 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. 22. 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 secara rinci pada Tabel 4.26. 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. 23. 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	kadar	berat	berat	berat	volume/	bj. Bulk	bj. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		kelelahan
benda	aspal	di udara	dlm air	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	plastis
uji							camp. Agg	agg.(vma)	camp(vim)	aspal(vfb)	arloji	sesuaikan	(flow)
	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
	% berat	data	data	data	data	e / f	GMM	100 -	100 -	100(i-j)			
	total	timbang	timbang	timbang	e - d			(100 - b)g	(100*g)	i			m / n
	campuran							gsb	h				
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(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
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
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
Rata-rata	5,8					2,363	2,232	19,04	-5,85	131,29	133,33	1308,93	6,10
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
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
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
Rata-rata	5,8					2,335	2,137	19,99	-9,26	147,58	171,67	1685,25	6,37
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
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
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
Rata-rata	5,8					2,260	2,032	22,57	-11,21	149,92	163,33	1603,44	6,83
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
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
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
Rata-rata	5,8					2,225	2,092	23,77	-6,34	128,21	217,00	2130,29	6,87

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Dari Tabel 4.20 dengan rumus:

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

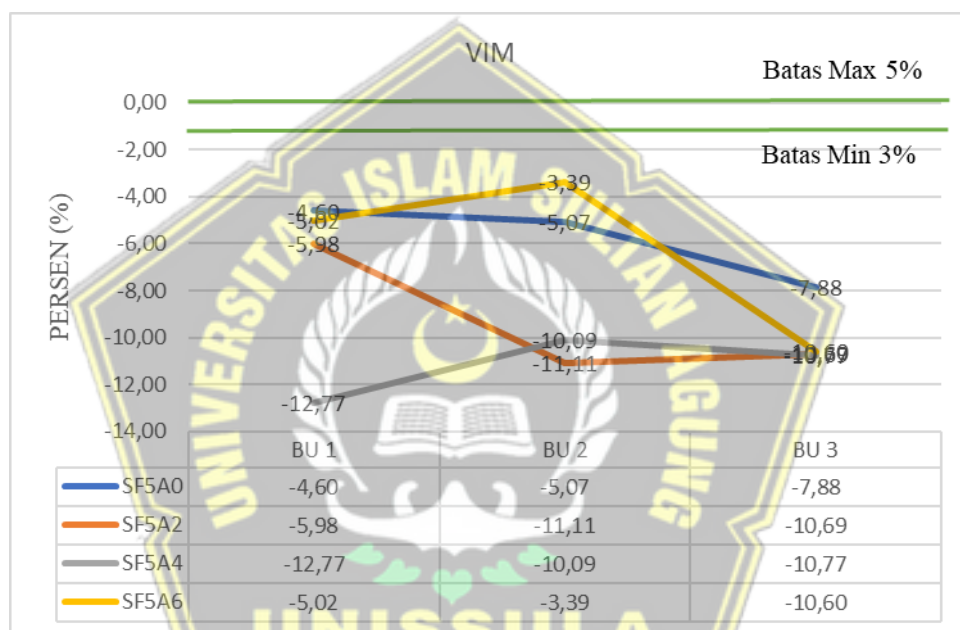
Keterangan:

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 4.28 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%. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji tidak memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Sedangkan untuk spesifikasi dari Bina marga nilai minimum VIM (*Void in Mix*) berada pada angka 3.00% dan maksimum berada pada angka 5.00%.



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

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.21 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 (%)

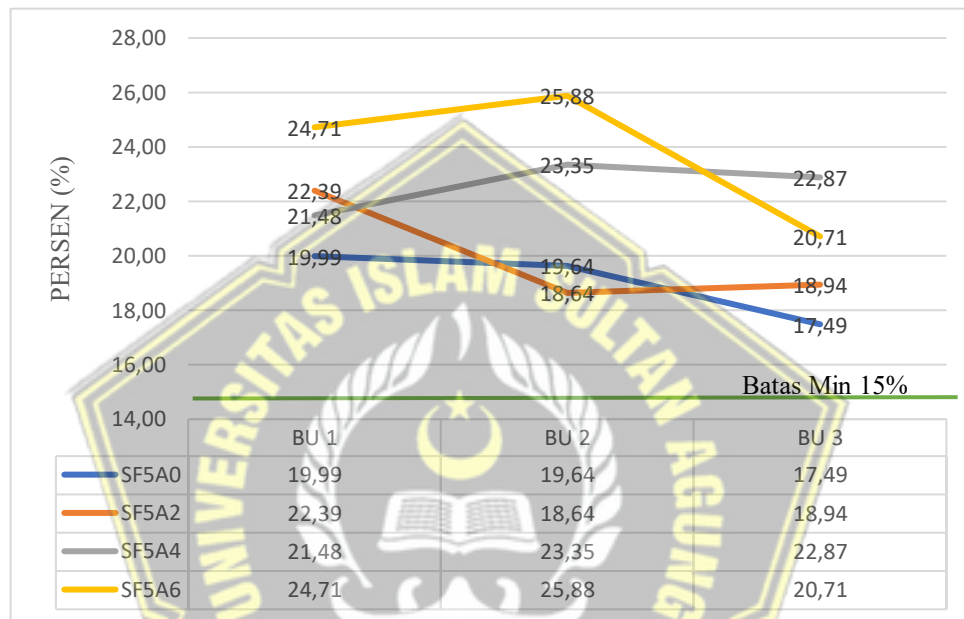
Gmb = Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cm³)

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 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 4.22 dengan rumus

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

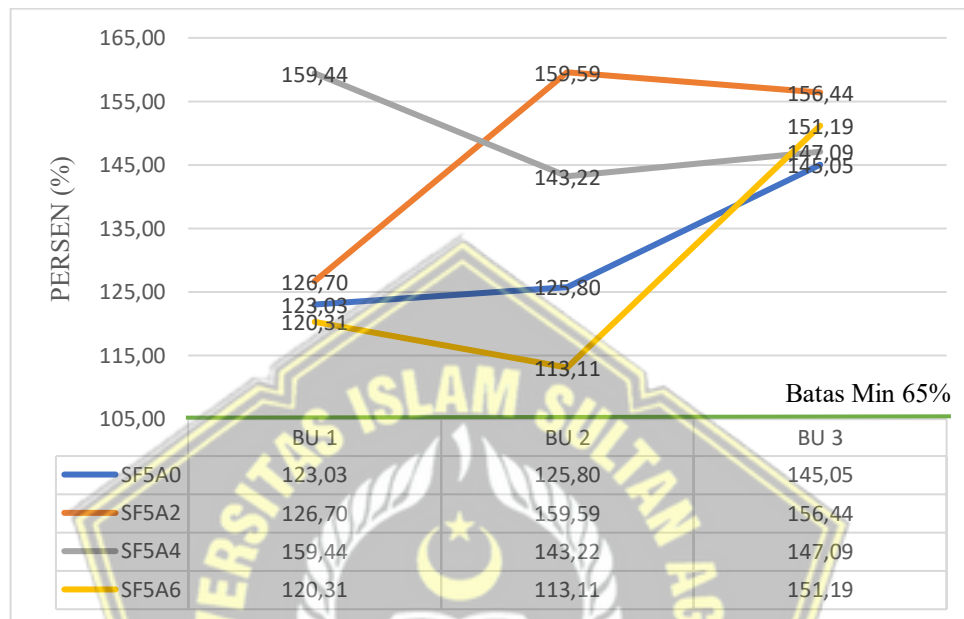
Keterangan:

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 4.23 dengan rumus

$$S = p \times q$$

Keterangan:

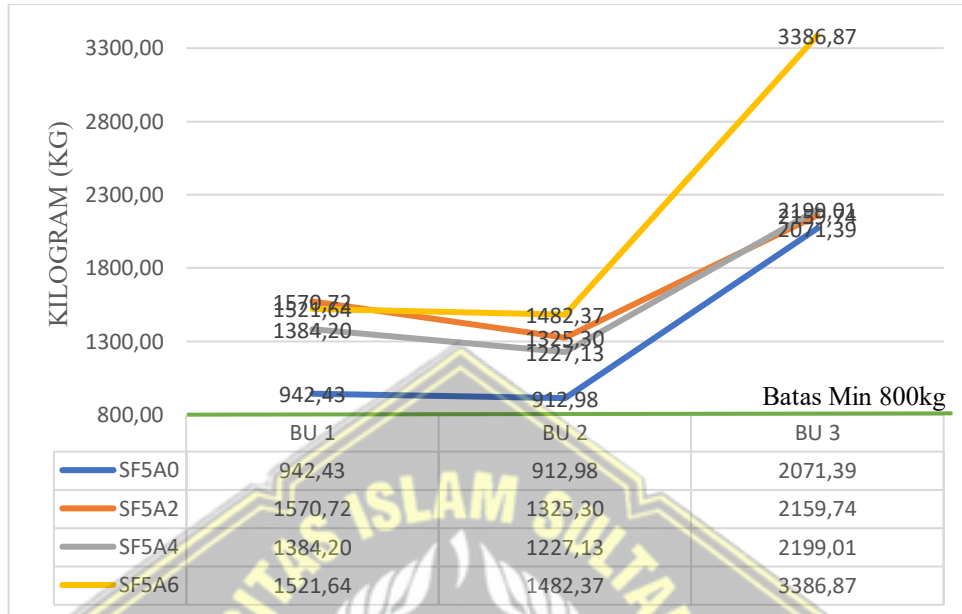
S = Angka stabilitas yang sesungguhnya

p = Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

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

nilai Stabilitas yang dihasilkan campuran *Fly Ash* 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.



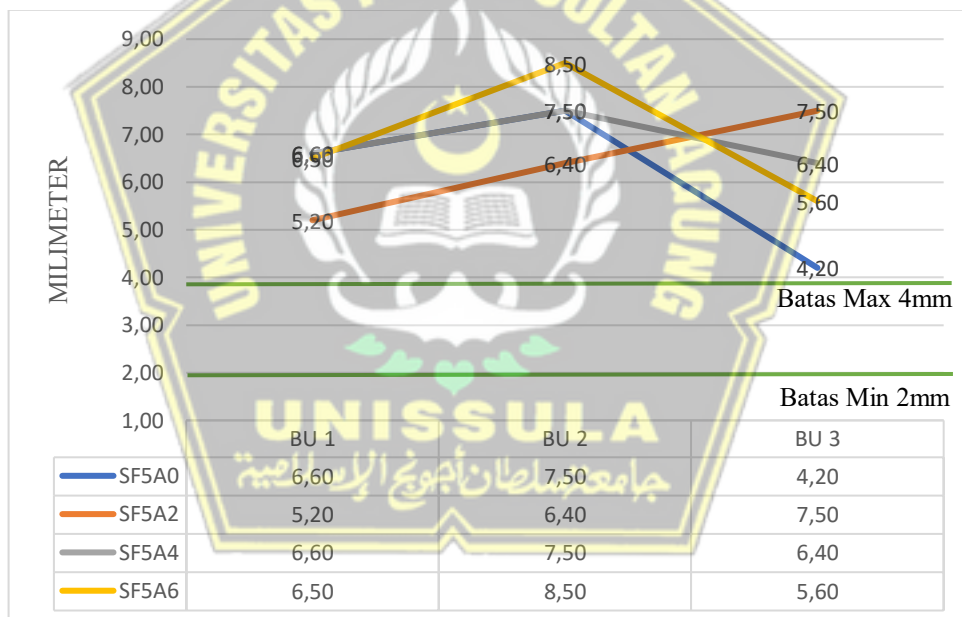
Grafik 4. 23. Stabilitas untuk Komposisi Fly Ash 5% dengan Abu Sekam 0%, 2%, 4%, dan 6%

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Pada grafik 4.24 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 4.25 dengan rumus

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

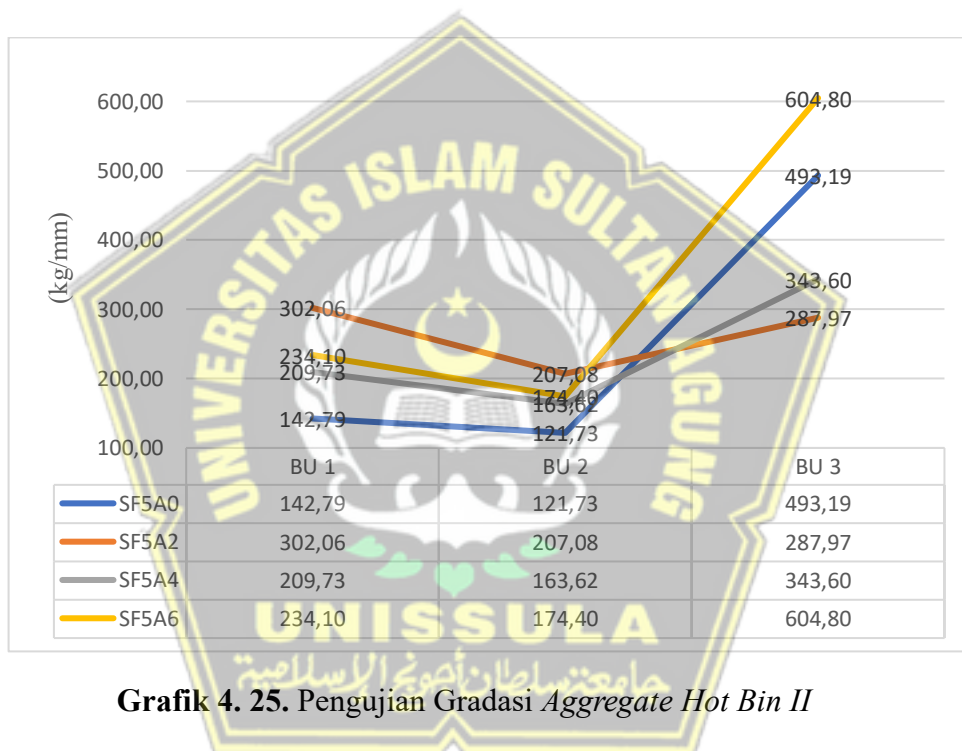
Keterangan:

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 tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan. dari hasil parameter *Marshall Test* yang memperoleh hasil yang berbeda-beda, yang direpresentasikan secara rinci dalam Tabel 4.23. Tabel tersebut menyajikan data yang menggambarkan parameter-parameter penting seperti VMA, VIM, VFB. stabilitas, *flow*, dan nilai *Marshall Quotient*, yang semuanya merupakan indikator kunci dalam menentukan kualitas dan daya dukung campuran.

Tabel 4. 24. Rekap Hasil Rata-Rata Komposisi Fly Ash 5% 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)	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. 25. Rekapitulasi Marshall Test (VMA)

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

Tabel 4. 26. Rekapitulasi Marshall Test (VIM)

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

Tabel 4. 27. Rekapitulasi Marshall Test (VFB)

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

Tabel 4. 28. Rekapitulasi Marshall Test (Stabilitas)

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

Tabel 4. 29. Rekapitulasi Marshall Test (Flow)

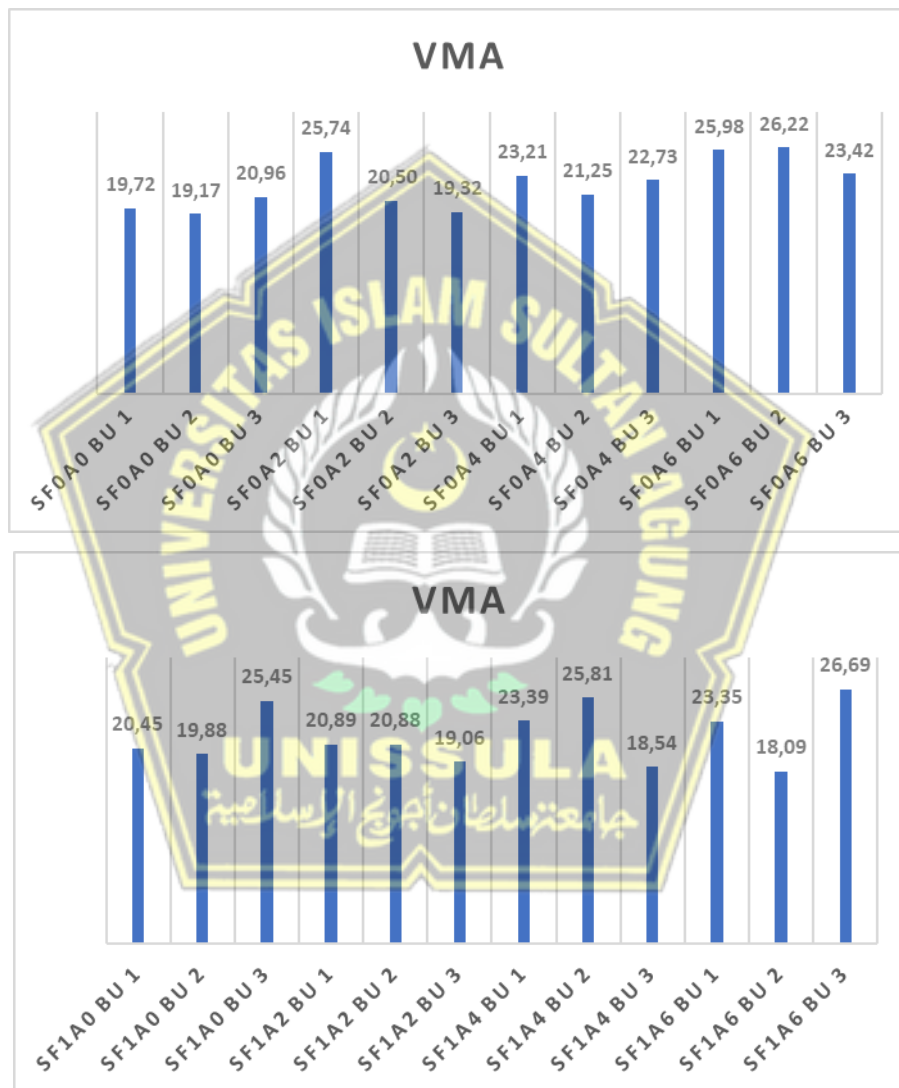
Benda Uji	Flow		
	Benda Uji		
	1	2	3
SF0A0	5,50	5,10	5,50
SF0A2	4,30	5,80	5,70
SF0A4	7,20	7,60	4,10
SF0A6	6,20	7,30	5,40
SF1A0	6,60	7,30	6,30
SF1A2	8,10	6,40	8,40
SF1A4	4,00	5,50	7,20
SF1A6	7,30	7,60	5,70
SF3A0	5,50	4,50	6,70
SF3A2	4,80	5,70	4,00
SF3A4	4,40	6,50	2,70
SF3A6	4,60	4,90	7,60
SF5A0	6,60	7,50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

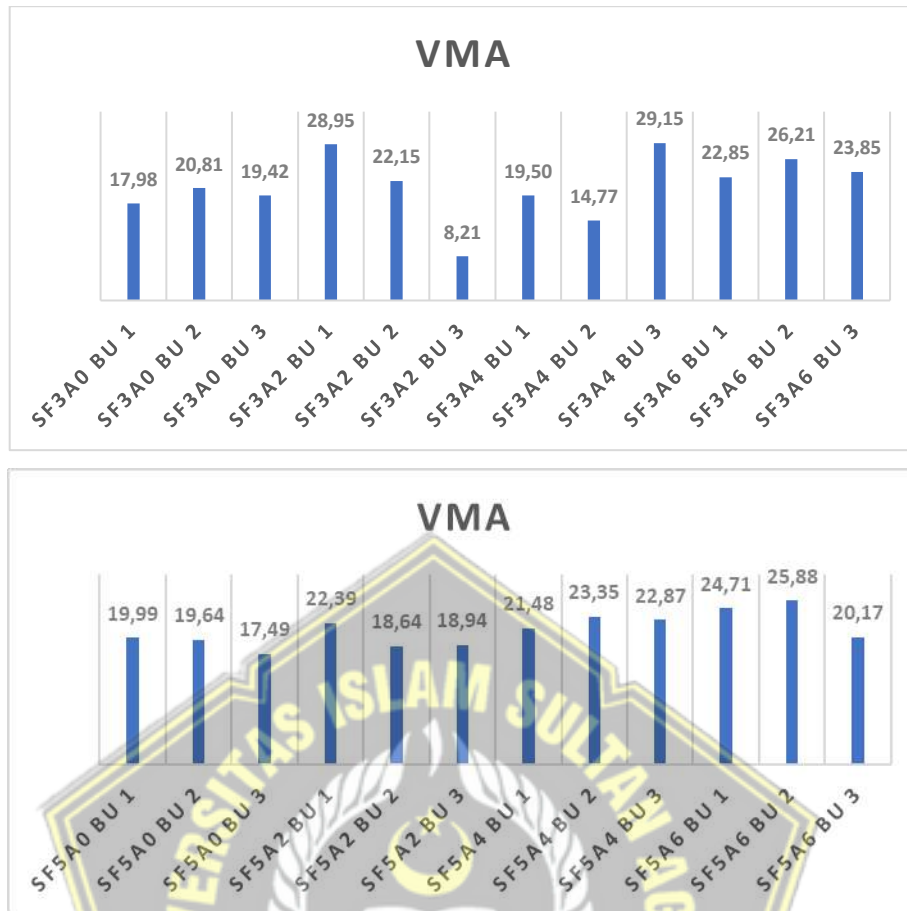
Tabel 4. 30. Rekapitulasi Marshall Test (MQ)

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

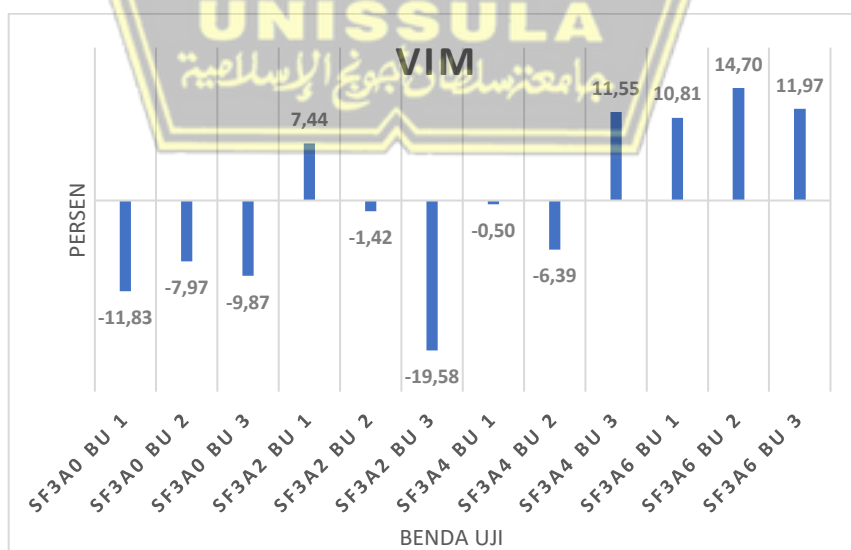
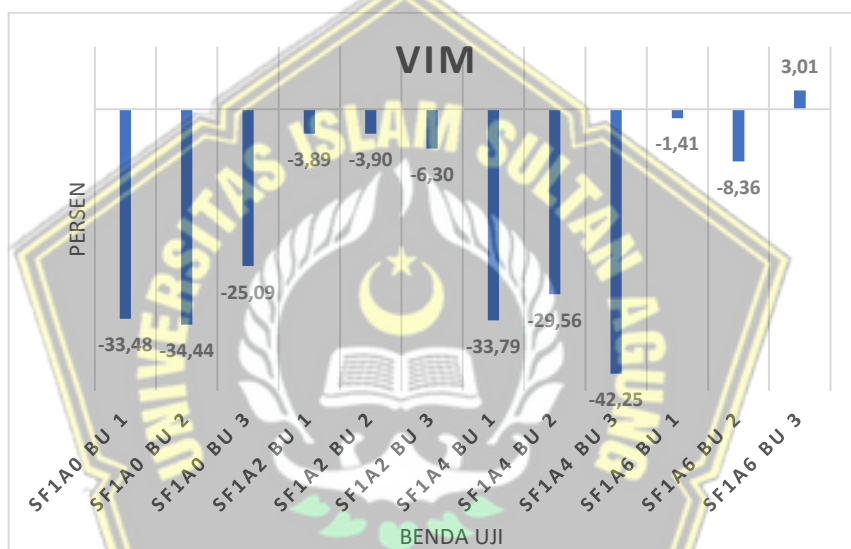
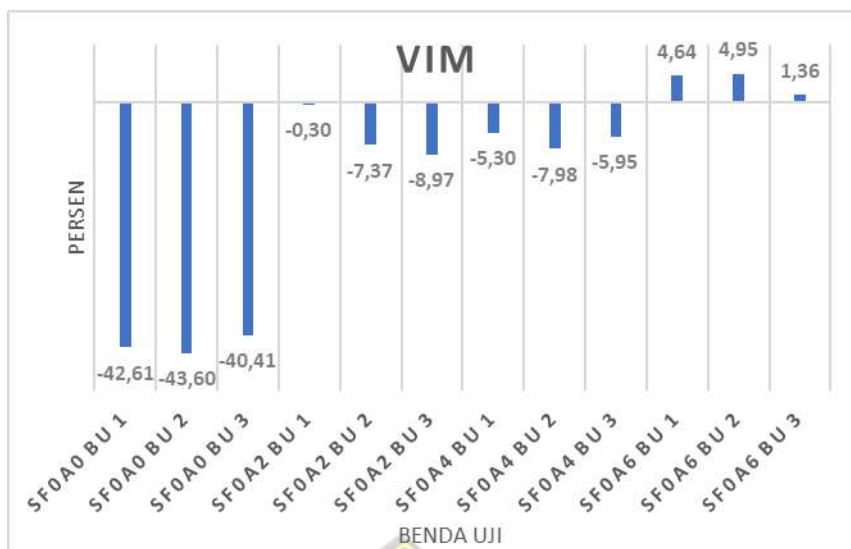
Pada Tabel 4.29 di atas, terdapat rekapitulasi yang menyajikan seluruh data hasil uji dari berbagai susunan benda uji yang telah dilakukan. Data ini dirangkum dalam format tabel dan grafik agar informasi lebih mudah dipahami dan dianalisis, serta memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai hasil pengujian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

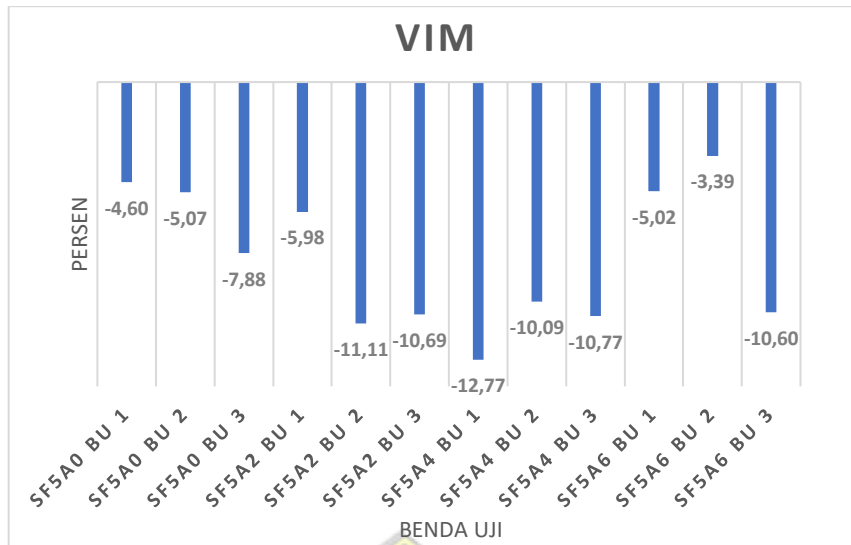




Grafik 4. 26. Rekapitulasi Nilai VMA
Sumber : Hasil Penelitian, 2025

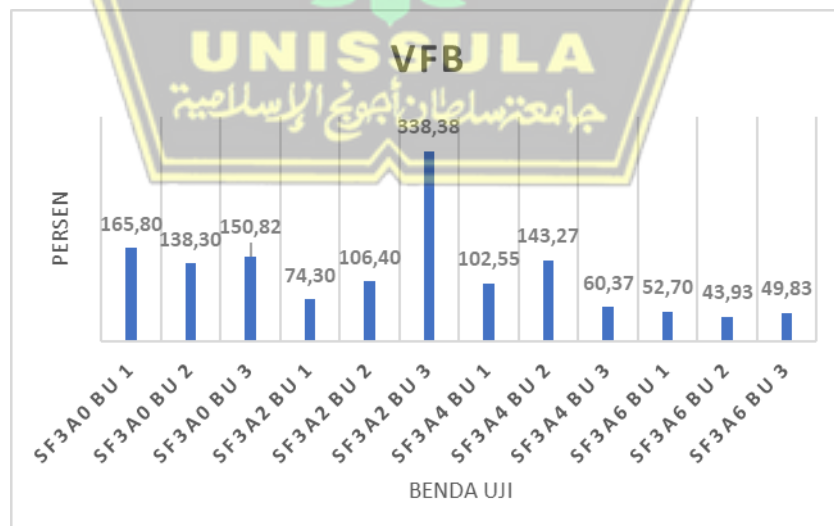
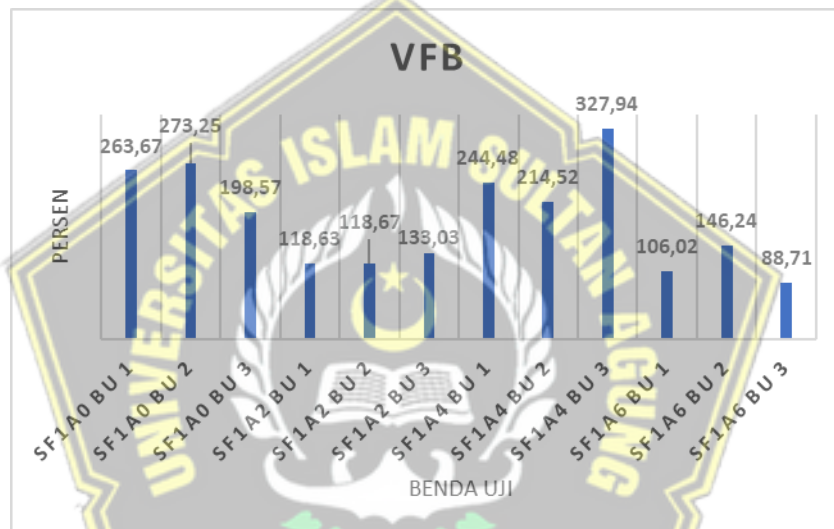
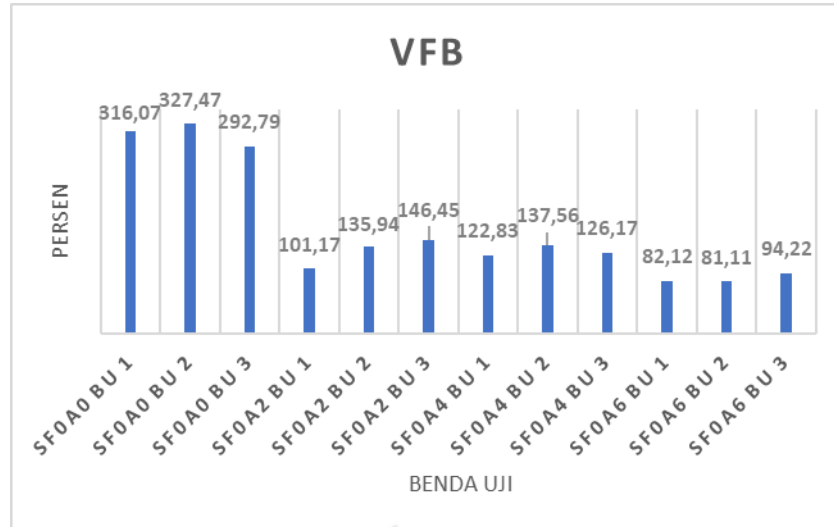
Nilai VMA (*Void in Mineral Aggregate*) untuk setiap campuran berada di atas batas minimum yang ditetapkan, yaitu 15%. Dengan demikian, tidak semua campuran memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan. Yaitu sample (SF3A2 BU 3) dengan nilai 8,21. Nilai terendah sebesar 8,21% (SF3A2 BU 3), sedangkan nilai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

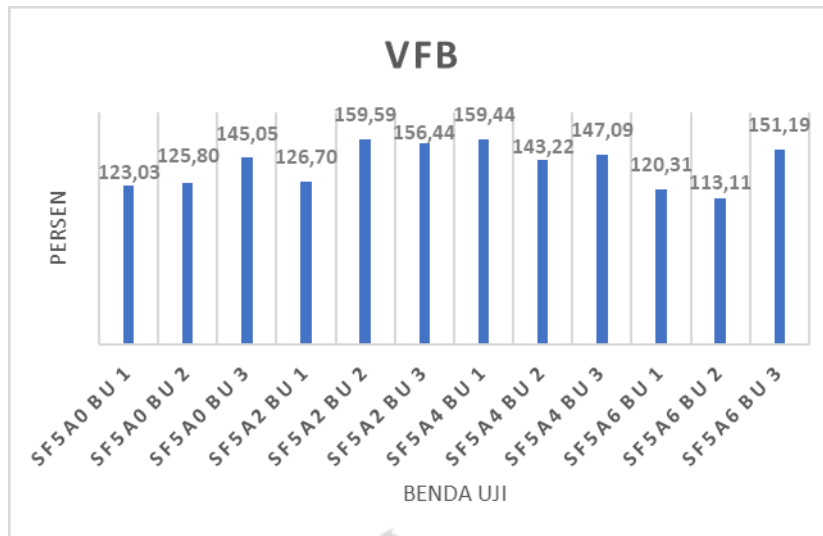




Grafik 4. 27. Rekapitulasi Nilai VIM
Sumber : Hasil Penelitian, 2025

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).

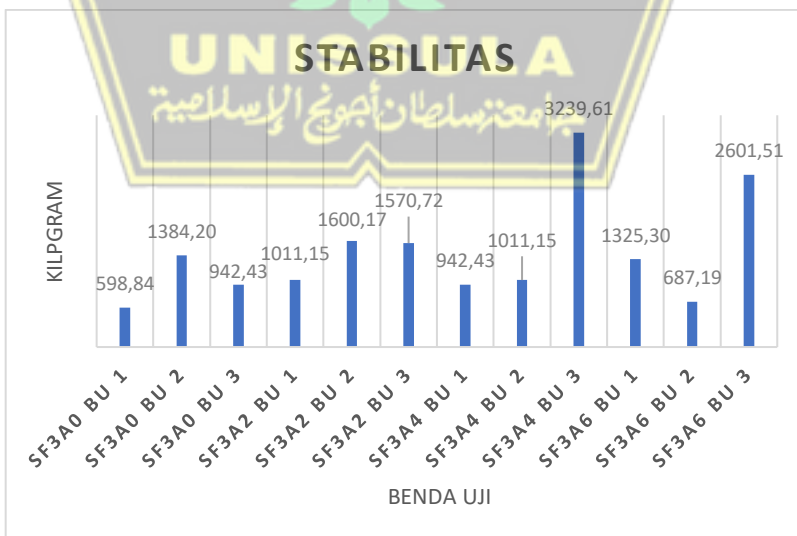
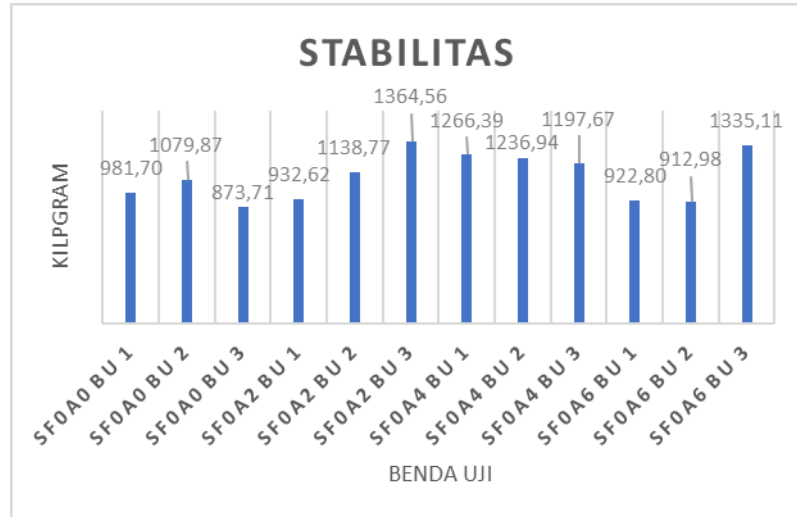


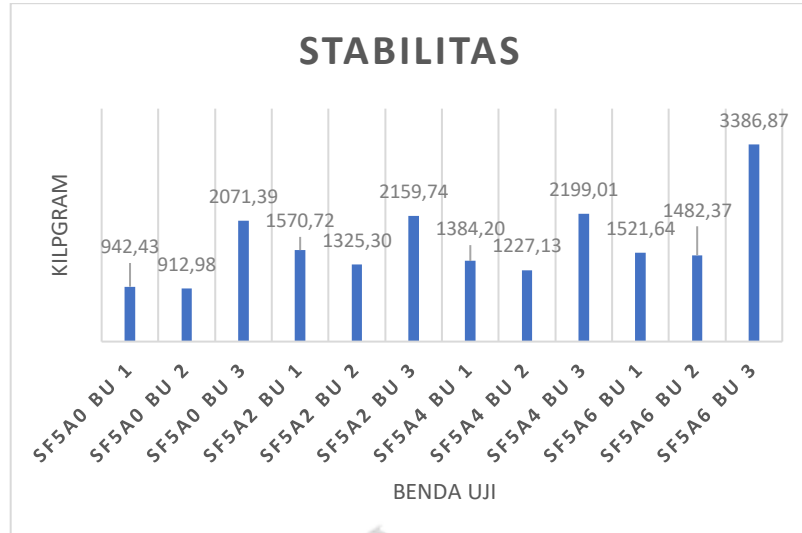


Grafik 4. 28. Rekapitulasi Nilai VFB

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%).

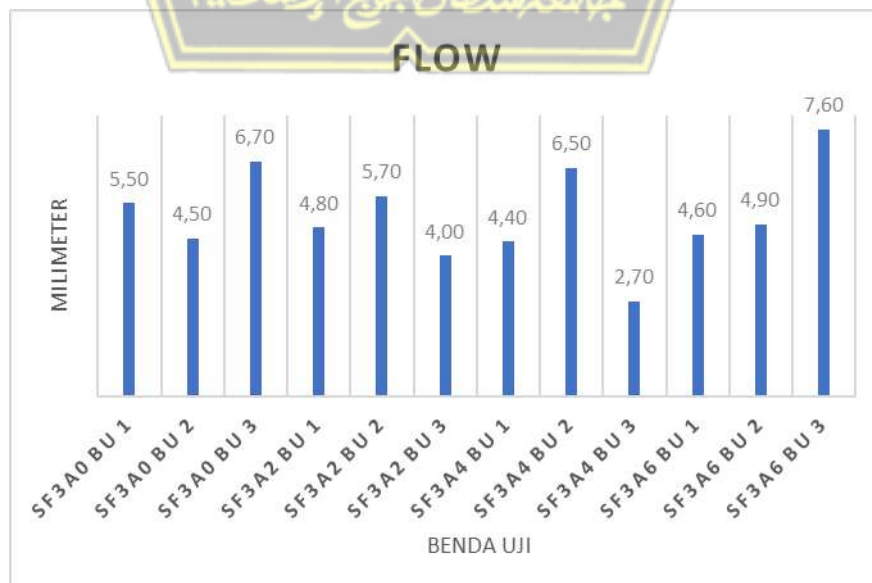
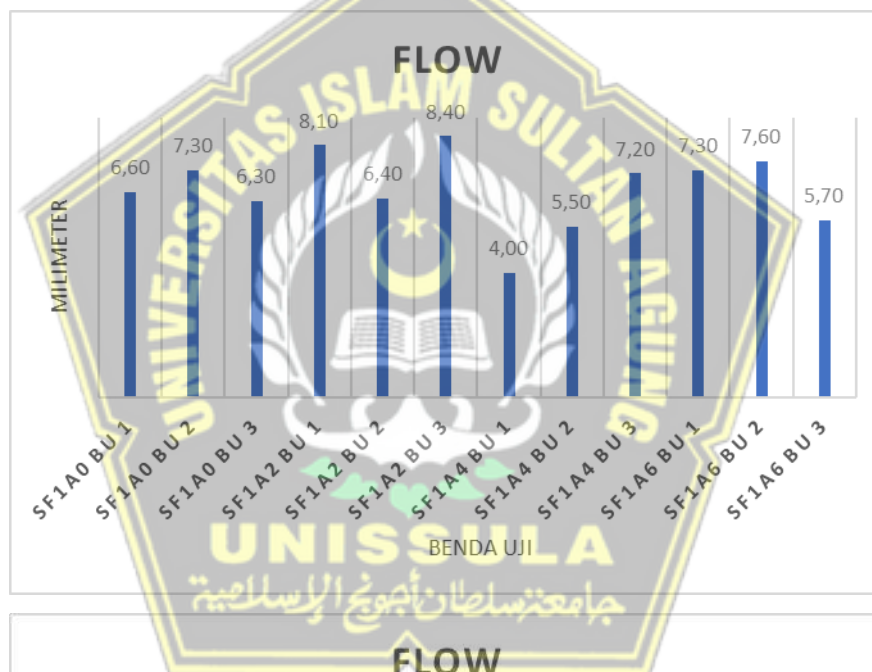
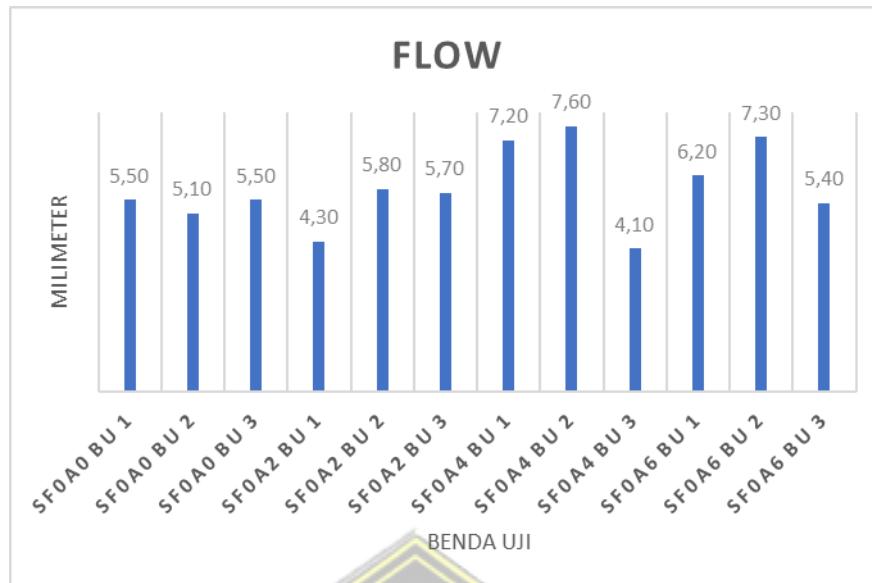


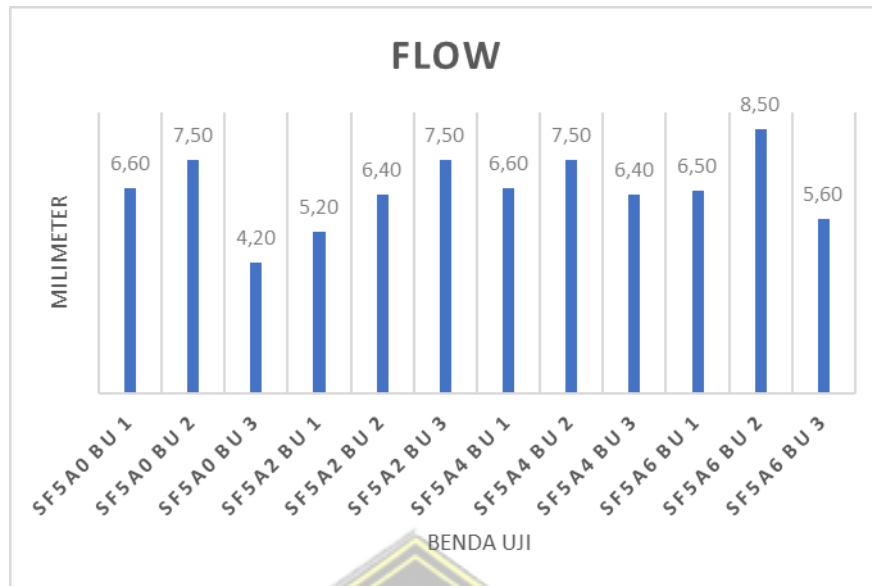


Grafik 4. 29. Rekapitulasi Nilai Stabilitas

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).

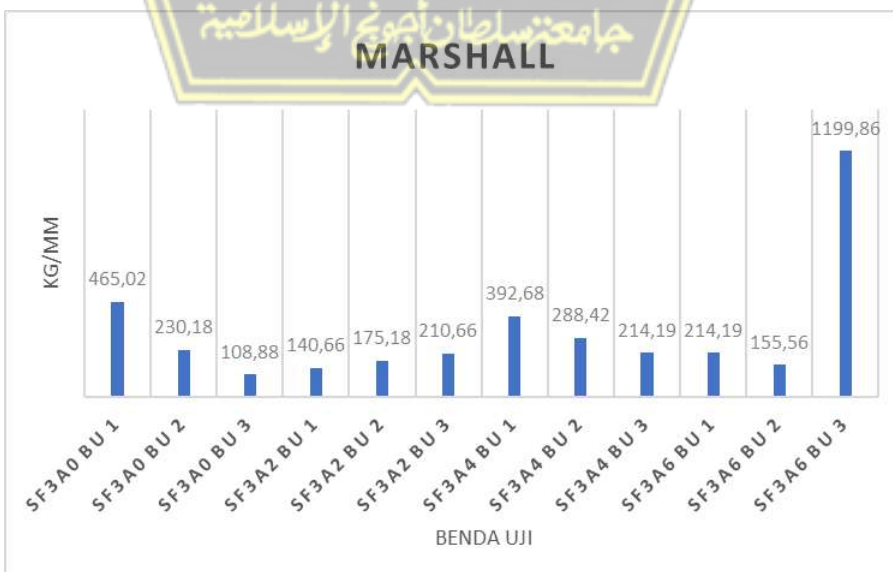
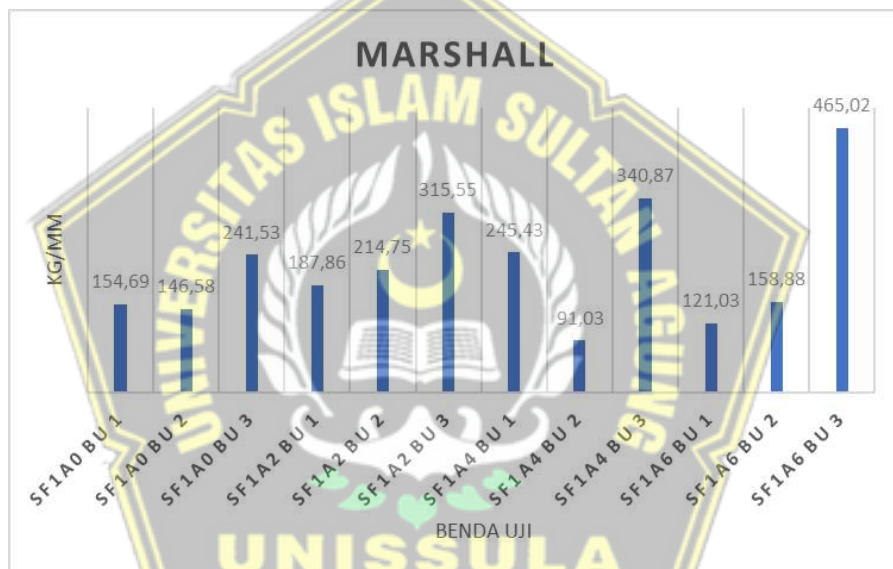
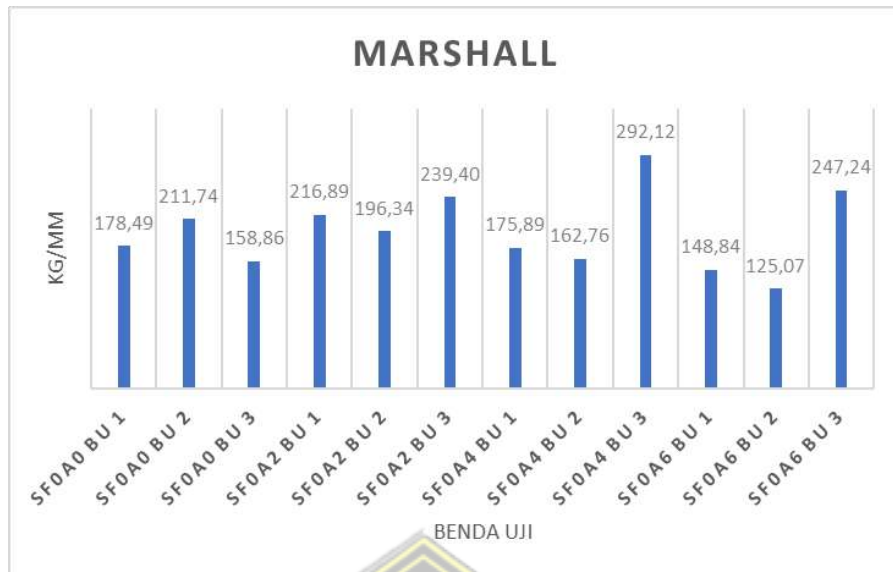


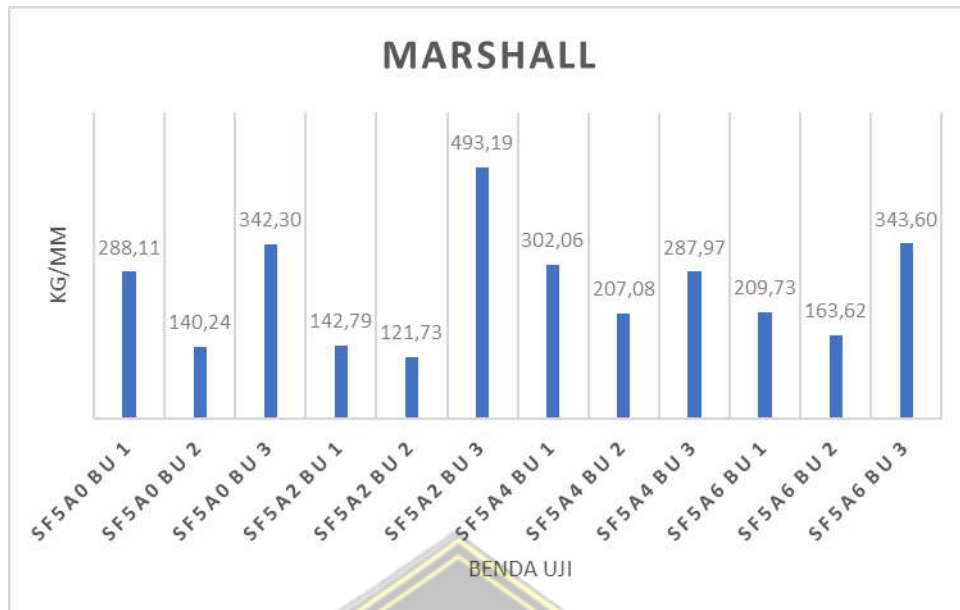


Grafik 4. 30. Rekapitulasi Nilai Flow

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 Quontient* 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

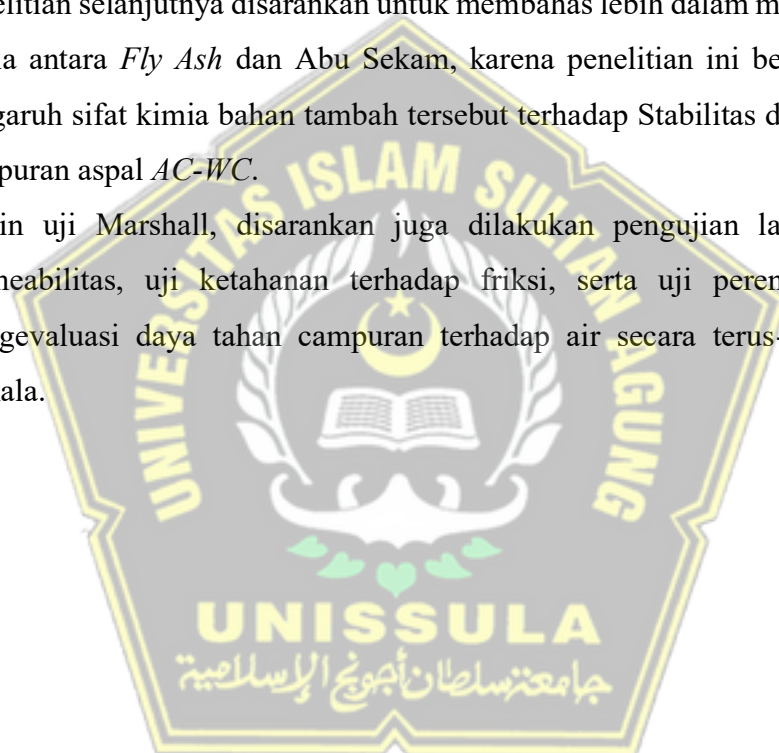
Berdasarkan analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini, kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) *Fly Ash* dan Abu Sekam dapat mempengaruhi nilai stabilitas, dan dari hasil nilai stabilitas *Marshall* masih memenuhi standar spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 revisi ke -2 dimana nilai hasil *Marshall* di atas 800kg, 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. Hasil penelitian yang telah dilakukan maka *Job Mix Design* karakteristik terbaik dari *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) bahan tambah *Fly Ash* dan Abu Sekam pada kombinasi *Fly Ash* kadar 0% dan Abu Sekam kadar 6% dimana hasil dari 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 Quontient 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 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 SUBTITUSI 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*.

