

TUGAS AKHIR

**PEMANFAATAN *FLY ASH* SEBAGAI *FILLER*
PENGGANTI TERHADAP KARAKTERISTIK *STONE*
MATRIX ASPHALT
(*UTILIZATION OF FLY ASH AS A REPLACEMENT
FILLER FOR THE CHARACTERISTICS OF ASPHALT
STONE MATRIX*)**

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



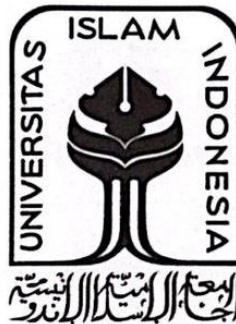
**Dony Prasetya
20511211**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2024**

TUGAS AKHIR

**PEMANFAATAN *FLY ASH* SEBAGAI *FILLER*
PENGANTI TERHADAP KARAKTERISTIK *STONE*
MATRIX ASPHALT
(*UTILIZATION OF FLY ASH AS A REPLACEMENT
FILLER FOR THE CHARACTERISTICS OF ASPHALT
STONE MATRIX*)**

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



**Dony Prasetya
20511211**

Disetujui :

Pembimbing

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Muhamad Abdul Hadi', written over the word 'Pembimbing'.

**Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
Tanggal : 10 Desember 2021**

TUGAS AKHIR

**PEMANFAATAN FLY ASH SEBAGAI FILLER
PENGGANTI TERHADAP KARAKTERISTIK STONE
MATRIX ASPHALT
(UTILIZATION OF FLY ASH AS A REPLACEMENT
FILLER FOR THE CHARACTERISTICS OF ASPHALT
STONE MATRIX)**

Disusun Oleh



Dony Prasetya
20511211

Telah diterima sebagai salah satu persayatan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Dituji pada tanggal 26 November 2024

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 215111307

Penguji I

Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc.
NIK : 145110101

Penguji II

Prayogo Afang Pravitno, S.T., M.Sc.
NIK : 205111303

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil


13/12/2024

Ir. Yunalis Muntaha, S.T., M.T., Ph.D (Eng), IPM
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Laporan Tugas Akhir yang disusun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun beberapa bagian tertentu dalam penulisan ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dicantumkan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau Sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku

Yogyakarta, 26 November 2024
Yang membuat pernyataan



Dony Prasetya
(20511211)

ABSTRAK

Adanya infrastruktur jalan yang berkualitas dengan mempertimbangkan dampak efisiensi energi dari bahan perkerasan yang digunakan dengan tata kelola yang baik dapat meminimalisir terjadinya dampak pada lingkungan. Perkerasan jalan tentunya membutuhkan beberapa campuran untuk meningkatkan daya dukungnya, beberapa campuran tersebut antara lain agregat halus, agregat kasar, *filler*, serta aspal sebagai material pengikat. Salah satu limbah berupa *fly ash* dapat digunakan sebagai substitusi *filler* campuran perkerasan. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan *fly ash* sebagai *filler* pengganti terhadap karakteristik campuran *SMA*.

Penelitian ini diawali dengan pengujian fisik pada bahan agregat dan aspal, kemudian dilanjutkan dengan penentuan nilai KAO berdasarkan parameter stabilitas, *flow*, *VITM*, *VMA*, *VCA*, *MQ*, *draindown*, dan *IRS*. Setelah itu, dilakukan serangkaian pengujian yang meliputi *marshall*, *ITS*, *TSR*, *IRS*, *VCA*, *draindown*, dan *CL* dengan variasi substitusi *filler fly ash* sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Penelitian ini mengikuti standar Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2.

Hasil pengujian didapatkan pada setiap pengujian memiliki variasi kadar substitusi *fly ash* pada tiap-tiap pengujian. Pada parameter kekuatan struktur berdasarkan hasil stabilitas, *MQ*, dan *ITS* menunjukkan penurunan dari kadar 0% hingga 100% dengan titik tertinggi berada pada kadar 0%. Sementara itu, untuk *flow* menunjukkan peningkatan. Walaupun menunjukkan penurunan tetapi masih memenuhi Spesifikasi Minimum Bina Marga 2018 Revisi 2. Pada parameter durabilitas, berdasarkan nilai *IRS*, *CL*, *draindown*, dan *TSR* menghasilkan campuran yang lebih stabil serta mampu mencegah permasalahan yang disebabkan pengaliran aspal saat campuran belum dipadatkan. Namun, penurunan akibat penurunan *TSR* membuat campuran berpotensi mengurangi daya tahan tarik campuran terhadap kondisi basah atau lembap

Kata Kunci: *Fly Ash, Filler, Stone Matrix Asphalt.*

ABSTRACT

The existence of quality road infrastructure by considering the impact of energy efficiency from pavement materials used with good governance can minimize the impact on the environment. Road pavement certainly requires several mixtures to increase its carrying capacity, some of these mixtures include fine aggregate, coarse aggregate, filler, and asphalt as a binding material. One of the wastes in the form of fly ash can be used as a filler substitute for pavement mixtures. The purpose of this study is to determine the effect of the use of fly ash as a substitute filler on the characteristics of SMA mixtures.

This research began with physical testing on aggregate and asphalt materials, then continued with the determination of KAO values based on stability, flow, VITM, VMA, VCA, MQ, draindown, and IRS parameters. After that, a series of tests were carried out which included marshall, ITS, TSR, IRS, VCA, DRAINDOWN, and CL with variations in fly ash filler substitution of 0%, 25%, 50%, 75%, and 100%. This research follows the standards of the 2018 Highway Specification Revision 2.

The test results obtained in each test had a variation in the level of fly ash substitution in each test. In the structural strength parameters based on the stability results, MQ, and ITS show a decrease from 0% to 100% with the highest point being at 0%. Meanwhile, for flow, it shows an increase. Although it shows a decrease, it still meets the Minimum Specification of Highways 2018 Revision 2. In the durability parameters, based on IRS, CL, draindown, and TSR values, it produces a more stable mixture and is able to prevent problems caused by asphalt flow when the mixture has not been compacted. However, the decrease due to the decrease in TSR makes the mixture potentially reduce the tensile resistance of the mixture to wet or humid conditions

Keyword: Fly Ash, Filler, Stone Matrix Asphalt.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Pemanfaatan *Fly Ash* Sebagai *Filler* Pengganti Terhadap Karakteristik Campuran *Stone Matrix Asphalt*. Tugas Akhir ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Penulis berharap karya ini dapat memberikan manfaat dan dampak positif dalam perkembangan ilmu pengetahuan, terutama bidang Teknik Sipil.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini terdapat beberapa hambatan yang diterima penulis, tetapi berkat saran, kritik, dan dorongan motivasi dari banyak pihak, alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan dengan baik. Berhubungan dengan hal tersebut, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan saran serta arahan mulai dari penentuan judul, penyusunan skripsi, serta apa yang perlu dan tidak perlu ditulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini, sehingga menghasilkan karya yang baik.
2. Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji 1 dalam Sidang Tugas Akhir saya yang telah memberikan banyak saran dan masukkan kepada penulis untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.
3. Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji 2 dalam Sidang Tugas Akhir saya yang telah memberikan banyak saran dan masukkan kepada penulis untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.
4. Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng.), selaku kepala Prodi Teknik Sipil yang telah membantu untuk kelancaran proses pembelajaran akademik yang penulis jalani.
5. Seluruh laboran Laboratorium Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

6. Bapak Djoko Trimulyo dan Ibu Endang Setiarini, selaku orang tua penulis yang selalu memberikan semangat, motivasi, dan tentunya senantiasa memanjatkan doa yang tulus tiada henti demi kelancaran dan kesuksesan penulis. Terima Kasih karena sudah menjadi alasan penulis untuk tetap dan selalu berjuang bagaimanapun keadaannya hingga bisa sejauh ini.
7. PT. ENCEHA PASIFIC yang sudah memberikan bantuan bahan tambah berupa serat selulosa, sehingga membantu penulisan dalam penyelesaian karya ini.
8. Wiji Rahayu, Firmana Yoga Pratama, Fathoni Abdul Mukti, Fadlurohman Assidiqi, dan Muhammad Nabil, selaku rekan-rekan penulis yang selalu membantu dan memberikan motivasi untuk penulis.
9. Terima kasih sebesar-besarnya dan apresiasi untuk diri saya sendiri yang sudah berjuang sekeras mungkin dengan penuh usaha dan kesabaran hingga berhasil mencapai titik ini.

Penulis mohon maaf jika terdapat kelalaian atau kesalahan penulisan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Penulis berharap karya ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi kita semua. Semoga Allah SWT selalu meridhoi setiap hal baik yang kita lakukan supaya menjadi sesuatu yang berkah dan berguna untuk diri sendiri dan orang lain.

Yogyakarta, 26 November 2024
Penulis



Dony Prasetya
(20511211)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	1
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
DAFTAR NOTASI	xx
DAFTAR SINGKATAN	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penggunaan <i>Filler</i> Pada Campuran Aspal Agregat Panas	7
2.2 Penggunaan <i>Filler</i> Pada Campuran <i>SMA</i>	8
2.3 Penggunaan <i>FA</i> Sebagai <i>Filler</i> Campuran Perkerasan	10
BAB III LANDASAN TEORI	16

3.1	<i>Fly Ash</i>	16
3.2	Perkerasan Lentur Jalan	16
3.3	Komponen Perkerasan Lentur Jalan	17
3.3.1	Aspal	17
3.3.2	Agregat	18
3.3.3	Gradasi Agregat	21
3.3.4	Bahan Aditif	22
3.4	Campuran Perkerasan <i>SMA</i>	23
3.5	Parameter Karakteristik Pengujian <i>Marshall</i>	24
3.5.1	Stabilitas (<i>Stability</i>)	24
3.5.2	Kelelehan (<i>Flow</i>)	25
3.5.3	<i>Marshall Quotient</i>	26
3.5.4	<i>Void in Mineral Agregate</i>	27
3.5.5	<i>Density</i>	28
3.5.6	<i>Void Filled With Asphalt</i>	29
3.5.7	<i>Void in the Total Mix</i>	30
3.6	Pengujian <i>Indirect Tensile Strength</i>	31
3.7	Pengujian <i>Cantabro Loss</i>	32
3.8	Pengujian Perendaman <i>Index of Retained Strength</i>	32
3.9	Pengujian <i>Tensile Strength Ratio</i>	33
3.10	<i>Void in Coarse Aggregate</i>	33
3.11	Pengujian <i>Draindown</i>	34
3.12	Karakteristik Beton Aspal	34
3.12.1	Stabilitas (<i>Stability</i>)	35
3.12.2	Keawetan (<i>Durability</i>)	35

3.12.3	Kelenturan (<i>Flexibility</i>)	35
3.12.4	Tahanan Geser atau Kekesatan (<i>Skid Resistance</i>)	35
3.12.5	Kedap Air (<i>Impermeabilitas</i>)	35
3.12.6	Ketahanan Kelelahan (<i>Fatigue Resistance</i>)	36
3.12.7	Kemudahan Pelaksanaan (<i>Workability</i>)	36
3.13	Analisis Statistik <i>ANOVA</i>	36
BAB IV	METODE PENELITIAN	39
4.1	Metode Penelitian	38
4.2	Metode Pengambilan Sampel	38
4.3	Metode Pengambilan Data	38
4.4	Tahapan Penelitian	39
4.4.1	Persiapan dan Pemeriksaan	39
4.4.2	Persiapan Alat	41
4.4.3	Persiapan Campuran	42
4.4.4	Pembuatan Campuran Benda Uji	47
4.4.5	Pengujian <i>Marshall</i>	48
4.4.6	Pengujian <i>ITS</i>	49
4.4.7	Pengujian <i>TSR</i>	49
4.4.8	Pengujian <i>IRS</i>	50
4.4.9	Pengujian <i>VCA_{DRC}</i>	50
4.4.10	Pengujian <i>Draindown</i>	51
4.4.11	Pengujian <i>CL</i>	52
4.5	Analisis Data	52
4.5.1	Analisis Karakteristik <i>Marshall</i>	52
4.5.2	Analisis Pengujian <i>ITS</i>	53

4.5.3	Analisis Pengujian <i>CL</i>	53
4.5.4	Analisis Pengujian <i>IRS</i>	54
4.5.5	Analisis Pengujian <i>TSR</i>	54
4.5.6	Analisis Pengujian <i>VCA</i>	54
4.5.7	Analisis Pengujian <i>Draindown</i>	54
4.6	Uji Statistik <i>ANOVA</i>	54
4.6	Bagan Alir Penelitian	54
BAB V	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	57
5.1	Hasil Pengujian Bahan Dan Campuran	57
5.1.1	Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	57
5.1.2	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat	57
5.1.3	Hasil Pengujian Campuran untuk Menentukan KAO	58
5.1.4	Hasil Pengujian Campuran pada KAO	60
5.2	Pembahasan	64
5.2.1	Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	64
5.2.2	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar	65
5.2.3	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus	66
5.2.4	Hasil Pengujian Karakteristik <i>Filler</i>	67
5.2.5	Pengaruh Kadar Aspal Dalam Menentukan KAO Terhadap Campuran	67
5.2.6	Karakteristik <i>Marshall</i> dengan <i>Filler FA</i> Pada Nilai KAO	75
5.2.7	Analisis Pemanfaatan Substitusi <i>Filler FA</i> Terhadap Nilai <i>Draindown</i>	85
5.2.8	Analisis Pemanfaatan Substitusi <i>Filler FA</i> Terhadap Nilai <i>CL</i>	87

5.2.9 Analisis Pemanfaatan Substitusi <i>Filler FA</i> Terhadap Nilai <i>ITS</i>	88
5.2.10 Analisis Pemanfaatan Substitusi <i>Filler FA</i> Terhadap Nilai <i>TSR</i>	89
5.2.11 Analisis Pemanfaatan Substitusi <i>Filler FA</i> Terhadap Nilai <i>IRS</i>	91
5.2.12 Analisis Pemanfaatan Substitusi <i>Filler FA</i> Terhadap Nilai <i>VCA</i>	93
5.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian Filler FA pada Campuran <i>SMA</i>	93
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	99
6.1 Kesimpulan	99
6.2 Saran	100
DAFTAR PUSTAKA	101
LAMPIRAN	104

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terkait Penggunaan <i>Filler</i> Pada Campuran Perkerasan	12
Tabel 3.1 Ketentuan-Ketentuan Aspal Keras	18
Tabel 3.2 Persyaratan Agregat Kasar Pada Campuran <i>SMA</i>	20
Tabel 3.3 Persyaratan Agregat Halus Pada Campuran <i>SMA</i>	20
Tabel 3.4 Gradasi Agregat Gabungan Campuran <i>SMA</i>	21
Tabel 3.5 Bahan Aditif Serat Selulosa	23
Tabel 3.6 Persyaratan Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i>	23
Tabel 4.1 Rencana Gradasi Campuran <i>SMA</i> (12,5 mm)	43
Tabel 4.2 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5%	45
Tabel 4.3 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5,5%	45
Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6%	46
Tabel 4.5 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6,5%	46
Tabel 4.6 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 7%	46
Tabel 4.7 Jumlah Benda Uji Dalam Mendapatkan Nilai KAO	47
Tabel 4.8 Jumlah Benda Uji Pada Pengujian KAO	47
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70	57
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar	58
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Agregat Halus Clereng	58
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Jenis <i>Filler</i>	58
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70	58
Tabel 5.6 Berat Debu Batu dan <i>FA</i> Batu Bara	60
Tabel 5.7 Rekapitulasi Pengujian Marshall pada KAO Setiap Kadar Substitusi <i>FA</i> Batu Bara	61
Tabel 5.8 Rekapitulasi Pengujian Nilai <i>VCA</i> pada KAO Setiap Kadar Substitusi <i>FA</i> Batu Bara	61
Tabel 5.9 Rekapitulasi Pengujian <i>Draindown</i> pada KAO Setiap Kadar Substitusi <i>FA</i>	61

Tabel 5.10 Rekapitulasi Pengujian <i>IRS</i> pada KAO Setiap Kadar Substitusi <i>FA</i>	62
Tabel 5.11 Rekapitulasi Pengujian <i>ITS</i> pada KAO Setiap Kadar Substitusi <i>FA</i>	62
Tabel 5.12 Rekapitulasi Pengujian <i>TSR</i> pada KAO Setiap Kadar Substitusi <i>FA</i>	62
Tabel 5.13 Rekapitulasi Pengujian <i>CL</i> pada KAO Setiap Kadar Substitusi <i>FA</i>	62
Tabel 5.14 Rekapitulasi Pengaruh <i>Filler FA</i> Terhadap Karakteristik Marshall Berdasarkan Metode Statistik <i>ANOVA</i>	63
Tabel 5.15 Rekapitulasi Pengaruh <i>Filler FA</i> Terhadap <i>TSR</i> , <i>ITS</i> , <i>IRS</i> , <i>CL</i> , dan <i>Draindown</i> Berdasarkan Metode Statistik <i>ANOVA</i>	63
Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Filler FA</i> pada Campuran <i>SMA</i>	94

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Lapis Perkerasan Lentur	17
Gambar 3.2 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas	25
Gambar 3.3 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>Flow</i>	26
Gambar 3.4 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>MQ</i>	27
Gambar 3.5 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VMA</i>	28
Gambar 3.6 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>Density</i>	29
Gambar 3.7 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VFWA</i>	30
Gambar 3.8 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VITM</i>	31
Gambar 4.1 Grafik Gradasi Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i> 25 mm	43
Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian	55
Gambar 5.1 Penentuan KAO dengan Substitusi <i>Filler FA</i> Batu Bara	59
Gambar 5.2 <i>Filler FA</i> Batu Bara	60
Gambar 5.3 Grafik Stabilitas Dalam Pengaruh Kadar Aspal	68
Gambar 5.4 Grafik <i>Flow</i> Dalam Pengaruh Kadar Aspal	69
Gambar 5.5 Grafik <i>MQ</i> Dalam Pengaruh Kadar Aspal	70
Gambar 5.6 Grafik <i>VITM</i> Dalam Pengaruh Kadar Aspal	71
Gambar 5.7 Grafik <i>VMA</i> Dalam Pengaruh Kadar Aspal	72
Gambar 5.8 Grafik <i>VCA</i> Dalam Pengaruh Kadar Aspal	73
Gambar 5.9 Grafik <i>Draindown</i> Dalam Pengaruh Kadar Aspal	74
Gambar 5.10 Grafik <i>IRS</i> Dalam Pengaruh Kadar Aspal	75
Gambar 5.11 Grafik Stabilitas Dalam Pengaruh Substitusi <i>Filler FA</i>	76
Gambar 5.12 Grafik <i>Flow</i> Dalam Pengaruh Substitusi <i>Filler FA</i>	78
Gambar 5.13 Grafik <i>MQ</i> Dalam Pengaruh Substitusi <i>Filler FA</i>	79
Gambar 5.14 Grafik <i>VITM</i> Dalam Pengaruh Substitusi <i>Filler FA</i>	80
Gambar 5.15 Grafik <i>VFWA</i> Dalam Pengaruh Substitusi <i>Filler FA</i>	82
Gambar 5.16 Grafik <i>VMA</i> Dalam Pengaruh Substitusi <i>Filler FA</i>	83
Gambar 5.17 Grafik <i>Density</i> Dalam Pengaruh Substitusi <i>Filler FA</i>	84

Gambar 5.18 Grafik <i>Draindown</i> Dalam Pengaruh Substitusi <i>Filler FA</i>	86
Gambar 5.19 Grafik <i>CL</i> Dalam Pengaruh Substitusi <i>Filler FA</i>	87
Gambar 5.20 Grafik <i>ITS</i> Dalam Pengaruh Substitusi <i>Filler FA</i>	88
Gambar 5.21 Grafik <i>TSR</i> Dalam Pengaruh Substitusi <i>Filler FA</i>	90
Gambar 5.22 Grafik Hubungan Stabilitas Rendaman	91
Gambar 5.23 Grafik <i>IRS</i> Dalam Pengaruh Substitusi <i>Filler FA</i>	92

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70	105
Lampiran 2. Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70	106
Lampiran 3. Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70	107
Lampiran 4. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70	108
Lampiran 5. Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70	109
Lampiran 6. Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam <i>TCE</i>	110
Lampiran 7. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	111
Lampiran 8. Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	112
Lampiran 9. Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i>	113
Lampiran 10. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	114
Lampiran 11. Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	115
Lampiran 12. Pemeriksaan Berat Jenis <i>Filler</i> Debu	116
Lampiran 13. Pemeriksaan Berat Jenis <i>Filler Fly Ash</i>	117
Lampiran 14. Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Untuk Menentukan KAO	118
Lampiran 15. Hasil Pengujian <i>VCA</i> Untuk Menentukan KAO	119
Lampiran 16. Hasil Pengujian <i>IRS</i> Untuk Menentukan KAO	120
Lampiran 17. Hasil Pengujian <i>Draindown</i> Untuk Menentukan KAO	121
Lampiran 18. Rekapitulasi Pengujian KAO	122
Lampiran 19. Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Pada <i>Filler Fly Ash</i> Batu Bara	123
Lampiran 20. Hasil Pengujian <i>ITS</i> Pada <i>Filler Fly Ash</i> Batu Bara	124
Lampiran 21. Hasil Pengujian <i>TSR</i> Pada <i>Filler Fly Ash</i> Batu Bara	125
Lampiran 22. Rekapitulasi <i>ITS</i> Dan <i>TSR</i> Pada <i>Filler Fly Ash</i> Batu Bara	126
Lampiran 23. Hasil Pengujian <i>CL</i> Pada <i>Filler Fly Ash</i> Batu Bara	127
Lampiran 24. Rekapitulasi <i>CL</i> Pada <i>Filler Fly Ash</i> Batu Bara	128
Lampiran 25. Hasil Pengujian <i>Draindown</i> Pada <i>Filler Fly Ash</i> Batu Bara	129
Lampiran 26. Hasil Pengujian <i>IRS</i> Pada <i>Filler Fly Ash</i> Batu Bara	130
Lampiran 27. Rekapitulasi <i>IRS</i> Pada <i>Filler Fly Ash</i> Batu Bara	131

Lampiran 28. Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Dan <i>Draindown</i>	132
Lampiran 29. Lampiran <i>ANOVA</i>	133

DAFTAR NOTASI

A_0	= Konstanta
A	= Nilai absolut kehilangan selama satu hari (kg)
A	= Persentase agregat dan aspal yang tertinggal (%)
B	= Berat akhir piring penampung (gr)
C	= Berat awal jumlah campuran yang diuji (gr)
a	= Persentase aspal terhadap batu
b	= Persentase aspal terhadap campuran
c	= Berat benda uji sebelum direndam (gr)
d	= Berat benda uji dalam keadaan jenuh (SSD) (gr)
e	= Berat dalam air (gr)
f	= Volume (cm ³)
g	= Berat isi sampel (gr/cc)
G_{CA}	= Berat jenis <i>bulk</i> dari fraksi campuran agregat kasar
G_{mb}	= Berat jenis <i>bulk</i> dari campuran aspal yang telah dipadatkan
h	= Berat jenis maksimum teoritis campuran
L	= Persentase kehilangan berat (%)
I	= Nilai <i>VMA</i> (%)
m	= Nilai rongga terisi aspal (<i>VFWA</i>) (%)
MQ	= Nilai <i>Marshall Quetient</i> (kg/mm)
Mo	= Berat sebelum di abrasi (gr)
Mi	= Berat setelah di abrasi (gr)
n	= Nilai rongga dalam campuran (<i>VITM</i>) (%)
P_{CA}	= Persentase campuran agregat kasar dalam total campuran aspal
P runtuh	= Beban puncak (kg)
q	= Nilai stabilitas (kg)
r	= Nilai <i>flow</i> (mm)
r	= Indeks penurunan stabilitas (%)

S_1	= Stabilitas setelah direndam selama 0,5 jam
S_2	= Stabilitas setelah direndam selama 24 jam
S_1	= Rata-rata nilai <i>ITS</i> tanpa rendaman
S_2	= Rata-rata nilai <i>ITS</i> setelah perendaman 24 jam (kg)
t_{1+1}	= Periode perendaman
V_s	= Volume silinder takaran (m^3)
W_s	= Berat silinder takaran (kg)
W_{s+w}	= Berat silinder takaran dengan air (kg)
Y_w	= Kepadatan atau berat satuan air pada suhu tertentu (kg/m^3)
Y_w	= Berat satuan agregat kasar dalam kondisi <i>dry-rodded</i> (kg/m^3)

DAFTAR SINGKATAN

<i>AASHTO</i>	= <i>America Association of State Highway and Transport</i>
<i>ANOVA</i>	= <i>Analysis of Variance</i>
<i>ITS</i>	= <i>Indirect Tensile Strength</i>
<i>IRS</i>	= <i>Index of Retained Strength</i>
<i>KAO</i>	= <i>Kadar Aspal Optimum</i>
<i>MQ</i>	= <i>Marshall Quotient</i>
<i>SMA</i>	= <i>Stone Matrix Asphalt</i>
<i>SNI</i>	= <i>Standar Nasional Indonesia</i>
<i>TSR</i>	= <i>Tensile Strength Ratio</i>
<i>VITM</i>	= <i>Void in the Total Mix</i>
<i>VFWA</i>	= <i>Void Filled With Asphalt</i>
<i>VMA</i>	= <i>Void in Mineral Agregate</i>
<i>VCA</i>	= <i>Void in Coarse Aggregate</i>
<i>VCA_{DRC}</i>	= <i>Void Coarse Aggregate Dry Rodded Condition</i>
<i>VCA_{MIX}</i>	= <i>Void Coarse Aggregate Mix</i>
<i>FA</i>	= <i>Fly Ash Batu Bara</i>
<i>SNI</i>	= <i>Standar Nasional Indonesia</i>
<i>PLTU</i>	= <i>Pembangkit Listrik Tenaga Uap</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Infrastruktur bisa dikatakan menjadi fondasi utama untuk meningkatkan kualitas hidup dan kesejahteraan bagi masyarakat. Peran infrastruktur jalan menjadi kunci utama serta berperan sangat penting pada perkembangan pembangunan suatu daerah. Adanya infrastruktur jalan yang berkualitas dengan mempertimbangkan dampak efisiensi energi dari bahan perkerasan yang digunakan dengan tata kelola yang baik dapat meminimalisir terjadinya dampak pada lingkungan.

Pada umumnya, ada beberapa jenis perkerasan jalan yang dapat digunakan, salah satunya yaitu perkerasan lentur. Perkerasan lentur itu sendiri merupakan jenis perkerasan jalan yang pada proses pengerjaannya menggunakan aspal sebagai bahan pengikat dari bahan penyusun misalnya bahan berbutir yang menjadi lapisan dibawahnya seperti pasir dan *filler*, serta material tersebut bersifat penyebar dari beban yang dihasilkan kendaraan yang melintas ke lapisan bawahnya. Pada perkerasan lentur merupakan lapis kedap air, yang berfungsi untuk mencegah air agar tidak masuk menuju tanah dasar sehingga tetap dapat menjaga daya dukung tanah dibawahnya. Bahan pengisi (*filler*) tentunya sangat diperlukan dalam perkerasan sebagai bahan pendukung untuk memperkuat suatu perkerasan jalan. Banyaknya kawasan industri saat ini menghasilkan limbah yang dapat dimanfaatkan sebagai *filler*, salah satunya yaitu *FABA* (*Fly Ash* dan *Bottom Ash*). Hal ini menjadikan *FABA* sebagai alternatif yang cocok untuk bahan campuran dalam lapisan perkerasan jalan, seperti lapisan pondasi atas (*base*), pondasi bawah (*subbase*), dan tanah dasar (*subgrade*) Indrayati dkk. (2019).

Menurut Alvin dkk. (2024), *fly ash* terbentuk selama proses pembakaran atau pemanasan material agregat kasar dan halus, yang mengakibatkan terbentuknya abu terbang tersebut. Selain itu, penggunaan *FA* sebagai *filler* mampu memperngaruhi nilai kuat tekan beton Setiawan dkk. (2023). Sementara itu,

menurut Kalawa dkk. (2021), *FA* berbentuk partikel halus dan bersifat *pozzolon*, karena bahan penyusun utamanya yaitu silikok dioksida, alumunium, dan ferrum oksida, sehingga oksida-oksida tersebut bisa bereaksi dengan kapur bebas dari semen ketika bereaksi dengan air. Sebelum dibuang ke udara, *FA* ditangkap dengan *electric precipitator*. Menurut Pasayu dkk. (2023), *FA* merupakan limbah B3 berlandaskan Peraturan Pemerintah No.1 Tahun 2014.

Pada penelitian ini menggunakan *FA* dari limbah batu bara. *FA* batu bara adalah produk sampingan yang dihasilkan dari pembakaran batu bara dalam proses pembangkitan listrik di pembangkit listrik tenaga uap. Penelitian Sugeha dkk. (2018), tentang pemanfaatan limbah abu batu bara sebagai filler pada campuran Laston melibatkan 15 benda uji dengan kadar aspal antara 5% hingga 7%. Selain itu, Yusuk dkk (2018) pernah melakukan penelitian tentang penggunaan abu batu dengan variasi *FA* batu bara yang disubsitusikan sebesar 5%, 6%, 7%, dan 8% menunjukkan bahwa penambahan *FA* mengakibatkan penurunan nilai stabilitas dan nilai *flow*, sehingga menyebabkan kemampuan material dalam menahan deformasi juga berkurang. Oleh sebab itu, *FA* batu bara memiliki banyak aplikasi industri yang mendukung pembangunan berkelanjutan, meskipun penting juga untuk memantau dampak lingkungannya, seperti potensi kontaminasi logam berat.

Perkerasan jalan tentunya membutuhkan beberapa campuran untuk meningkatkan daya dukungnya, beberapa campuran tersebut antara lain agregat halus, agregat kasar, *filler*, serta aspal sebagai material pengikat. Pada umumnya, campuran perkerasan yaitu penggunaan beberapa material konstruksi yang dikombinasikan untuk memberikan kekuatan dan daya tahan pada perkerasan jalan. Terdapat beberapa jenis campuran perkerasan yang dapat digunakan, contohnya yaitu *SMA*. *SMA* adalah jenis campuran perkerasan yang memiliki stabilitas yang bagus terhadap beban yang diterima dari kendaraan serta dirancang untuk memperoleh durabilitas yang cukup tinggi. Menurut Alpius dkk (2022), *SMA* didesain guna mengatasi potensi kerusakan roda kendaraan ketika aus melalui daya tahan yang bagus dan durasi yang lama. Sementara itu, menurut Hidayat dan Kushari (2019) campuran *SMA* memiliki kemampuan yang baik dalam menahan gelincir, deformasi, serta keretakan.

Menurut Pagau dkk. (2024), campuran *SMA* Kasar merupakan jenis campuran yang dikenal karena kekuatan dan daya tahannya yang tinggi terhadap beban lalu lintas serta kondisi cuaca ekstrem. *SMA* memiliki beberapa karakteristik sendiri, yaitu tahan terhadap deformasi karena memiliki tingkat ketahanan dan kekuatan yang baik. Menurut Bina Marga (2018), penggunaan *filler* harus ditambahkan dalam campuran perkerasan dalam rentang 1-2% berat total agregat. Penelitian terkait penggunaan *filler* dalam campuran perkerasan pernah dilakukan Kushari (2019), Nugroho (2018), Muchtar (2011), dan Fauzan (2017) menunjukkan bahwa penggunaan *filler* pada perkerasan walaupun dengan campuran yang berbeda tetap mendapatkan pengaruh yang bagus untuk karakteristik campuran yang dipakai. Menurut Rachman dkk. (2022), pemanfaatan *FA* batu bara sebagai *filler* tidak terlalu memberikan pengaruh yang jauh pada kekuatan campuran perkerasan.

Berdasarkan beberapa permasalahan diatas, peneliti berinisiatif melakukan penelitian terkait penggunaan *FA* untuk dijadikan *filler* pengganti terhadap karakteristik *SMA*. Selanjutnya, peneliti melakukan pengujian *marshall*, *ITS*, *IRS*, *TSR*, *Draindown*, *VCA* dan *CL*. Melalui pengujian tersebut, diharapkan dapat mengembangkan pemanfaatan limbah untuk digunakan dalam campuran perkerasan sehingga berpotensi meningkatkan aspek keberlanjutan konstruksi jalan sebagai bahan baku yang berkualitas.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dibuat, maka dapat diambil rumusan masalah yaitu sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh penggunaan *FA* batu bara sebagai *filler* pengganti terhadap kekuatan struktur pada campuran *SMA*?
2. Bagaimana pengaruh *FA* batu bara sebagai *filler* pengganti terhadap parameter volumetrik pada campuran *SMA*?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan *FA* batu bara sebagai *filler* pengganti terhadap durabilitas pada campuran *SMA*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dibuat, maka dapat diambil tujuan penelitian yaitu sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh penggunaan *FA* batu bara sebagai *filler* pengganti terhadap kekuatan struktur pada campuran *SMA*.
2. Mengetahui pengaruh *FA* batu bara sebagai *filler* pengganti terhadap parameter volumetrik pada campuran *SMA*.
3. Mengetahui pengaruh penggunaan *FA* batu bara sebagai *filler* pengganti terhadap durabilitas pada campuran *SMA*.

1.4 Batasan Penelitian

Adapun beberapa batasan penelitian yang dipakai penulis yaitu sebagai berikut.

1. Memakai peraturan dari Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.
2. Tidak melakukan pengujian kandungan unsur mineral yang terdapat dalam *FA* batu bara.
3. Limbah *FA* batu bara diperoleh dari proyek PLTU Kabupaten Batang.
4. Pengujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII.
5. Agregat kasar dan agregat halus didapatkan dari Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII.
6. Tinjauan dalam pengujian terhadap durabilitas mengacu pada uji *IRS*, *TSR*, *draindown*, dan *CL*.
7. Menggunakan metode *Marshall Standar* dalam perencanaan dan pengujian karakteristik campuran
8. Menggunakan serat selulosa pabrikasi CF 51500.
9. Menggunakan bahan pengikat yaitu aspal Pertamina penetrasi 60/70.
10. *Filler* yang dipakai yaitu dari *FA* batu bara dengan kadar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dari berat agregat lolos saringan No. 200.
11. Variasi kadar aspal yang digunakan yaitu 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%.

12. Pengujian dilakukan dengan meninjau karakteristik volumetrik campuran aspal berdasarkan *VMA*, *VFWA*, *VITM*, dan *VCA*.
13. Tinjauan pengujian terhadap kekuatan struktur berdasarkan stabilitas, *flow*, *MQ*, dan *ITS*.
14. Penelitian ini tidak melakukan pengujian untuk stabilitas dinamis.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penggunaan *Filler* Pada Campuran Aspal Agregat Panas

FA adalah limbah berbentuk abu dengan material berbutir halus yang merupakan hasil dari pembakaran batu bara pada PLTU yang dapat dimanfaatkan dalam proyek konstruksi terutama dijadikan *filler* dalam campuran perkerasan. Menurut Prasetiawan (2021), *FA* termasuk dalam golongan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) yang cara mengelolanya memerlukan izin yang ketat sehingga membutuhkan biaya pengelolaan yang cukup mahal berdasarkan Peraturan Pemerintah No.85 Tahun 1999. *FA* merupakan bahan pozzolanik tentunya dapat dikombinasikan dengan kalsium hidroksida yang diperoleh dari hidrasi semen sehingga dapat menjadi material yang mampu memperkuat ketahanan terhadap deformasi campuran. Berdasarkan (SNI 2460:2014), *FA* terbagi menjadi dua kelas, yaitu kelas F dan kelas C. Kelas F yaitu bersifat pozzolanik, dimana dihasilkan akibat pembakaran batu bara jenis *bituminous*. Sementara itu, kelas C bersifat pozzolanik yang dihasilkan dari batu bara bersifat lignite dan *sub-bituminous*.

Zakariya dkk (2021) telah melakukan penelitian menggunakan *FA* kelas F sebesar 25% terhadap sementitus. Berdasarkan penelitian tersebut diketahui bahwa komposisi bahan tersebut mampu mengurangi panas hingga 15,52% dan peningkatan temperatur melambat yang mengakibatkan pergeseran waktu temperatur dari keadaan normal pada jam ke-55 dengan temperatur puncak 84,04°C menjadi lebih lama pada jam ke-64 dengan temperatur puncak sebesar 71,3°C. Selain itu, Sadillah (2018) juga telah melakukan penelitian terkait pemanfaatan *FA* sebagai *filler* pada campuran perkerasan *AC-WC* dengan kadar 7%. Berdasarkan penelitian tersebut, didapatkan nilai *VITM* sebesar 4,21%, *VMA* sebesar 19,21%, stabilitas *marshall* sebesar 1326,10 kg, *marshall flow* sebesar 3,69 mm dan *MQ* sebesar 360,13 kg/mm.

Pemanfaatan *filler* sebagai bahan dalam campuran perkerasan tentunya mempunyai manfaat guna meningkatkan kualitas dan kinerja pada jalan. Selain itu, *filler* dapat membantu dalam menjaga campuran perkerasan dari deformasi plastis akibat beban yang dihasilkan dari kendaraan. Namun, penggunaan *filler* sebagai bahan pengisi dalam campuran perkerasan harus memenuhi standar spesifikasi dari peraturan Bina Marga. Pada umumnya, *filler* yang sering digunakan untuk campuran perkerasan yaitu semen, abu batu, pasir halus, serbuk batu kapur, dan lainnya.

Menurut Yuniarti dkk (2019), penggunaan *filler* dari limbah industri sebagai bahan pengganti pada campuran perkerasan dapat berperan penting dalam mempengaruhi kinerja perkerasan jalan. Keterbatasan hasil dari sumber daya alam menjadi salah satu faktor untuk memanfaatkan limbah sebagai *filler* pada campuran perkerasan. Namun, dalam memilih jenis *filler* harus mempertimbangkan kondisi iklim, jenis agregat, dan tipe perkerasan yang akan dikerjakan.

2.2 Penggunaan Filler Pada Campuran SMA

Menurut Purbanto dkk (2009) SMA merupakan beton aspal campuran panas yang memaksimalkan penggunaan agregat kasar dan kadar aspal yang tinggi. Kemudian diisi dengan mastik aspal, yang merupakan campuran agregat halus, *filler*, aspal, dan serat selulosa, sehingga mengurangi pengaliran aspal yang disebabkan oleh kadar aspal yang tinggi. Mereka melakukan penelitian dengan serat serabut kelapa digunakan sebagai pengganti serat selulosa sintetis. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis karakteristik campuran SMA menggunakan serat serabut kelapa. supaya mencapai Kadar Aspal Optimum (KAO), pengujian material dilakukan terlebih dahulu pada agregat kasar, agregat halus, *filler*, aspal, dan serat serabut kelapa sesuai prosedur SNI. Selanjutnya, KAO kembali menerima benda uji dengan variasi kadar serabut kelapa sebesar 0,2%; 0,3%; dan 0,4% dari berat campuran total. Didapatkan KAO sebesar 7,25% dan kadar serabut kelapa optimum sebesar 0,3%, ketika nilai *marshall* sebesar 1154,85 kg (lebih dari 600 kg), dan nilai sisa *marshall* sebesar 96,57% (lebih dari 90%).

Nilai *Cantabro Abrasion Loss (CAL)* adalah 2,1% (kurang dari 16%). *ITS* adalah 110,22 kPa. Pengujian pengaliran aspal *draindown* mencapai 0,021% (kurang dari 0,3%), dan untuk benda uji serabut yang tidak ditambahkan diperoleh 2,09%.

Tahir dkk (2018). telah melaksanakan penelitian terkait pemanfaatan abu-batu semen sebagai *filler* pengganti pada campuran *SMA*. Pada pengujian tersebut didapatkan nilai sebesar 0,136%, 0,236%, 0,784%, 1,455%, 1,066%, dan 1,697% pada setiap kadar *filler* semen. Selain itu, didapatkan pula nilai *drain-down* sebesar 20%, dimana nilai tersebut merupakan kadar maksimum *filler* semen pada *SMA*. Penelitian tersebut dilaksanakan dengan metode uji *marshall* dan uji *draindown* karena bertujuan untuk mengetahui karakteristik pada campuran *SMA*. Berdasarkan hasil penelitian yang sudah didapatkan, nilai *draindown* meningkat karena dipengaruhi oleh besarnya kadar semen yang dipakai serta banyaknya kadar aspal yang dipakai untuk kadar semen tetap. Adapun nilai *draindown* yang diperoleh, yaitu ketika kadar semen 0%, maka nilai *draindown* 0,15%, sementara ketika kadar semen 20%, maka didapatkan nilai *draindown* 0,16%. Nilai kadar semen tidak boleh melebihi 20% sesuai dengan ketentuan yang sudah ditetapkan pada keadaan kadar aspal optimum.

Pengujian *SMA* menggunakan aspal penetrasi 60/70 dilakukan dengan benda uji yang dirancang berdasarkan perancangan *marshall*, karakteristik *draindown*, dan analisis volumetrik yang digunakan sebagai parameter. Melalui pertimbangan batasan kadar aspal dari 6% hingga 7%, nilai kadar aspal optimum dapat ditentukan untuk gradasi optimum berdasarkan ketetapan *Asphalt Institute Manual Series No.2 (MS-2)*. Pengujian dilakukan menggunakan *Marshall Test* dan *ITS* supaya memperoleh nilai *IRS* dan *TSR*. Hasil dari pengujian tersebut, didapatkan nilai *draindown* tidak lebih dari 0,3% dari berat campuran. Selain itu, didapatkan nilai *IRS* dan *TSR* telah sesuai dari standar spesifikasi yang ditetapkan, yaitu dengan masing-masing $\geq 90\%$ dan $\geq 80\%$ pada KAO 6,9%. Keawetan pada campuran perkerasan *SMA* dari deformasi yang diterima dan stabilitas akibat perendaman dipengaruhi oleh besar kecilnya bahan pengikat.

Hidayat dan Kushari (2019), telah melakukan penelitian tentang penggunaan abu ampas tebu sebagai *filler* pengganti pada karakteristik campuran

SMA melalui metode uji *marshall*, *IRS*, *ITS*, dan *CL*. Sebelum melakukan pengujian, dilakukan penentuan terkait nilai KAO pada abu ampas tebu dengan nilai 0%, 25%, 50%, dan 75%. Hasil penelitian tersebut menunjukkan peningkatan seiring meningkatnya kadar abu ampas hingga 25% senilai 39,73% yaitu 1199,484 kg, tetapi terjadi penurunan ketika kadar ampas tebu 50% dan 75% sebesar 97,318 kg nilai stabilitasnya. Selain itu, didapatkan pula nilai *IRS* pada kadar 0%, 25%, dan 50% sebesar 95,051%, 97,318%, dan 97,794%. Hasil pada kadar 75% senilai 88,280% tidak memenuhi standar spesifikasi Bina Marga (2010), karena nilai tersebut berada dibawah 90%. Selanjutnya, didapatkan nilai *ITS* sebesar 16,887 kg/cm² ketika kadar ampas tebu 75% serta nilai *CL* didapatkan 14,280% ketika bertambahnya kadar *filler*. Berdasarkan hasil yang sudah didapatkan, nilai tersebut kurang dari 20% sehingga sudah sesuai dengan standar spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2.

2.3 Penggunaan *FA* Sebagai *Filler* Campuran Perkerasan

Leonard (2020) telah melaksanakan penelitian *FA* abu batu bara sebagai *filler* untuk dijadikan *geopolymer* dengan tambahan zat aditif (NaOH) untuk campuran aspal beton. Penelitian tersebut tidak memanfaatkan campuran gradasi bawah atau atas, dikarenakan tidak sesuai dengan standar spesifikasi yang telah ditetapkan. Adapun standar spesifikasi tersebut antara lain, yaitu *VIM* gradasi atas 3,52%, gradasi tengah 4,33%, gradasi bawah 6,80%. Pemanfaatan campuran *filler geopolymer* sangat dianjurkan sesuai komposisi yaitu 1% - 2%. Implementasi dari spesifikasi tersebut berguna untuk meningkatkan stabilitas dan memperkecil rongga agar memperoleh kadar aspal maksimum dan karakteristik bahan yang digunakan. Berdasarkan penelitian yang sudah dilaksanakan, didapatkan hasil yaitu beberapa nilai meningkat, antara lain nilai stabilitas sebesar 42,56%, nilai *flow* 13,3%, nilai *Marshall quotient* 31,56%, *VIM* 26,57%, dan *VFA* 8,07%, sedangkan terjadi penurunan pada nilai *VMA* menurun sebesar 0,6%. Hasil dari nilai-nilai tersebut didapatkan melalui pemanfaatan bahan campuran aspal beton menggunakan gradasi tengah. Penggunaan gradasi tengah mempunyai fungsi seperti

meningkatkan stabilitas dan kekakuan yang baik karena penting menahan deformasi yang diterima sehingga dapat meminimalisir kerusakan pada permukaan jalan.

Wahyuningsih (2007) telah melaksanakan penelitian tentang membandingkan pemanfaatan *FA* batu bara, abu sekam padi, dan abu batu sebagai *filler* pengganti untuk campuran perkerasan. Pengujian tersebut dilakukan dengan melihat data dari nilai stabilitas, *flow*, *VITM*, *VFWA*, dan *MQ*. Pengujian tersebut dilakukan dengan metode *MQ* dan *Immersion Test* dengan menggunakan kadar *filler* 8% dan variasi kadar aspal 4% hingga 8% dengan interval 2%. Hasil dari pengujian tersebut menunjukkan bahwa nilai *IRS* pada waktu perendaman selama 30 menit lebih baik disbanding 24 jam. Sementara itu, untuk abu sekam padi didapatkan nilai lebih rendah saat perendaman 30 menit disbanding 24 jam. Nilai-nilai tersebut dijadikan pembanding dari campuran LASTON dengan material abu batu sebagai *filler* yang digunakan.

Hasrullah dkk (2022), melakukan penelitian tentang penggunaan *FA* batu bara dan limbah plastik pada campuran perkerasan sebagai *filler* pengganti. Penelitian tersebut menggunakan metode pengujian *Marshall Test*. Metode basah dilakukan dalam pencampuran limbah plastik, dimana limbah tersebut dicampurkan kedalam aspal cair yang masih dipanaskan untuk mendapatkan campuran homogen. Berdasarkan penelitian tersebut, didapatkan hasil KAO dengan aspal pen 60/70 senilai 6%. Didapatkan pula nilai KAO sebesar 7,2% untuk substitusi 10%, lalu nilai KAO 7,9% untuk nilai substitusi 20%. Sementara itu, untuk substitusi 30% diperoleh nilai KAO 9,6%. Penggunaan campuran aspal pen 60/70 mendapatkan nilai lebih tinggi dibandingkan campuran aspal dengan 30% limbah plastik sebagai *filler* pengganti walaupun mampu menambah nilai stabilitas lebih tinggi sebesar 12,30%.

2.4 Perbandingan Antar Penelitian Terdahulu

Adapun perbandingan antara penelitian terdahulu yang sudah dilaksanakan dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Penelitian Terkait Penggunaan *Filler* Pada Campuran Perkerasan

Aspek	Purbanto dkk. (2022)	Tahir dkk. (2018)	Hidayat dan Kushari (2019)	Wahyuningsih (2007)	Hasrullah dkk. (2009)	Leonard (2020)	Penulis
Judul	Analisis Karakteristik Campuran <i>SMA</i> dengan Serabut Selulosa Serabut Kelapa	Karakteristik Campuran <i>SMA</i> yang Menggunakan <i>Filler</i> Abu Batu dan Semen	Analisis Karakteristik Campuran <i>SMA</i> dengan Abu Ampas Tebu Sebagai <i>Filler</i> Pengganti	Penggunaan <i>Filler FA</i> (Abu Batu Bara), <i>Filler</i> Abu Sekam Padi, dan <i>Filler</i> Abu Batu Pada Kinerja LASTON	Pemanfaatan Limbah Plastik dan <i>FA</i> Pada Campuran Lapisan Perkerasan Jalan	Pemanfaatan Sisa Pembakaran Batu Bara Pada Campuran Beton Geopolimer	Pemanfaatan <i>FA</i> Sebagai <i>Filler</i> Pengganti Terhadap Karakteristik <i>SMA</i>
Jenis Campuran	<i>SMA</i>	<i>SMA</i>	<i>SMA</i>	Lapis Aspal Beton	AC-WC	Aspal Beton Geopolimer	<i>SMA</i>
Bahan	Serabut Selulosa Serabut Kelapa	Abu Batu dan Semen	Abu Ampas Tebu dan Silika	<i>FA</i> (Abu Batu Bara), Abu Sekam Padi, Abu Batu	<i>FA</i> (Abu Batu Bara) dan Limbah Plastik	<i>FA</i> (Abu Batu Bara)	Debu Batu dan <i>FA</i> Batu Bara

Sumber: Purbanto dkk. (2009), Tahir dkk.(2018), Hidayat dan Kushari (2019), Wahyuningsih (2007), Hasrullah dkk. (2009), dan Leonard (2020)

Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu Dalam Penggunaan *Filler* Pada Campuran Perkerasan

Aspek	Purbanto dkk. (2022)	Tahir dkk. (2018)	Hidayat dan Kushari (2019)	Wahyuningsih (2007)	Hasrullah dkk. (2009)	Leonard (2020)	Penulis
Pengujian	<i>Marshall, CL, dan ITS</i>	<i>Marshall dan Drain-down</i>	<i>Marshall, CL, IRS dan ITS</i>	<i>Marshall dan Immersion Test.</i>	<i>Marshall</i>	<i>Marshall</i>	<i>Marshall, IRS, ITS, TSR, VCA, CL, dan Draindown,</i>
Hasil	Didapatkan KAO sebesar 7,25% dan kadar serabut kelapa optimum sebesar 0,3%, ketika nilai <i>Marshall</i> sebesar nilai sisa <i>Marshall</i> sebesar	Pada pengujian tersebut didapatkan nilai sebesar 0,136%, 0,236%, 0,784%, 1,455%, kadar <i>filler</i> semen. Selain itu, didapatkan	Hasil penelitian tersebut menunjukkan peningkatan seiring meningkatnya 25% senilai 39,73% yaitu 1199,484 kg, tetapi terjadi penurunan ketika kadar	Hasil dari pengujian tersebut menunjukkan bahwa nilai <i>IRS</i> pada waktu perendaman selama 30 menit lebih baik	Penggunaan campuran aspal pen 60/70 mendapatkan nilai lebih tinggi dibandingkan campuran aspal dengan 30% limbah plastik sebagai <i>filler</i> pengganti walaupun mampu menambah nilai stabilitas lebih tinggi sebesar	Berdasarkan penelitian yang sudah dilaksanakan, didapatkan hasil yaitu beberapa nilai meningkat, antara lain nilai stabilitas sebesar 42,56%, nilai <i>Flow</i> 13,3%, nilai <i>Marshall quotient</i> 31,56%, 26,57%,	Didapatkan KAO sebesar 6,4%. Setelah itu, dilakukan serangkaian pengujian yang meliputi <i>marshall, ITS, TSR, IRS, VCA, draindown,</i> dan <i>CL</i> dengan variasi substitusi <i>filler fly ash</i> sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%.

Sumber: Purbanto dkk. (2009), Tahir dkk.(2018), Hidayat dan Kushari (2019), Wahyuningsih (2007), Hasrullah dkk. (2009), dan Leonard (2020)

Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu Dalam Penggunaan *Filler* Pada Campuran Perkerasan

Aspek	Purbanto dkk. (2022)	Tahir dkk. (2018)	Hidayat dan Kushari (2019)	Wahyuningsih (2007)	Hasrullah dkk. (2009)	Leonard (2020)	Penulis
Hasil	96,57% (lebih dari 90%). Nilai <i>Cantabro Abrasion Loss</i> (CAL) sebesar 2,1% (kurang dari 16%) dan nilai <i>Strength of Indirect Tensile (ITS)</i> sebesar 110,22 kPa. Pengujian pengaliran aspal (<i>Drain-down</i>) mencapai 0,021% (kurang dari 0,3%) serabut	pula nilai <i>drain-down</i> sebesar 20%. Adapun nilai <i>Draindown</i> yang diperoleh, yaitu ketika kadar semen 0%, maka nilai <i>Draindown</i> 0,15%, sementara ketika kadar semen 20%, maka didapatkan nilai.	ampas tebu 50% dan 75% sebesar 97,318 kg nilai stabilitasnya. Selain itu, didapatkan pula nilai <i>IRS</i> pada kadar 0%, 25%, dan 50% sebesar 95,051%, 97,318%, dan 97,794%. Kemudian, nilai <i>ITS</i> sebesar 16,887 kg/cm ² ketika kadar ampas tebu 75%	disbanding 24 jam. Sementara itu, untuk abu sekam padi didapatkan nilai lebih rendah saat perendaman 30 menit disbanding 24 jam. Nilai-nilai tersebut dijadikan pembandingan dari campuran LASTON dengan material abu batu sebagai <i>filler</i> yang digunakan	12,30%.	dan <i>Volume Of Voids Filled With Asphalt</i> (VFA) 8,07%, sedangkan terjadi penurunan pada nilai <i>Void In The Mineral Agregate (VMA)</i> menurun sebesar 0,6%.	Pada parameter kekuatan struktur berdasarkan hasil stabilitas, <i>MQ</i> , dan <i>ITS</i> menunjukkan penurunan dari kadar 0% hingga 100% dengan titik tertinggi berada pada kadar 0%. Sementara itu, untuk <i>flow</i> menunjukkan peningkatan. Walaupun menunjukkan penurunan tetapi masih memenuhi Spesifikasi

Sumber: Purbanto dkk. (2009), Tahir dkk.(2018), Hidayat dan Kushari (2019), Wahyuningsih (2007), Hasrullah dkk. (2009), dan Leonard (2020)

Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu Dalam Penggunaan *Filler* Pada Campuran Perkerasan

Aspek	Purbanto dkk. (2022)	Tahir dkk. (2018)	Hidayat dan Kushari (2019)	Wahyuningsih (2007)	Hasrullah dkk. (2009)	Leonard (2020)	Penulis
Hasil	yang tidak ditambahkan diperoleh 2,09%.	<i>Draindown</i> 0,16%. Nilai kadar semen tidak boleh melebihi 20% sesuai dengan ketentuan yang sudah ditetapkan pada keadaan kadar aspal optimum.	serta nilai <i>cantabro</i> didapatkan 14,280% ketika bertambahnya kadar <i>filler</i> .				Minimum Bina Marga 2018 Revisi 2. Pada parameter durabilitas, berdasarkan nilai <i>IRS, CL,</i> <i>draindown</i> , dan <i>TSR</i> menghasilkan campuran yang lebih stabil.

Sumber: Purbanto dkk. (2009), Tahir dkk.(2018), Hidayat dan Kushari (2019), Wahyuningsih (2007), Hasrullah dkk. (2009), dan Leonard (2020)

BAB III

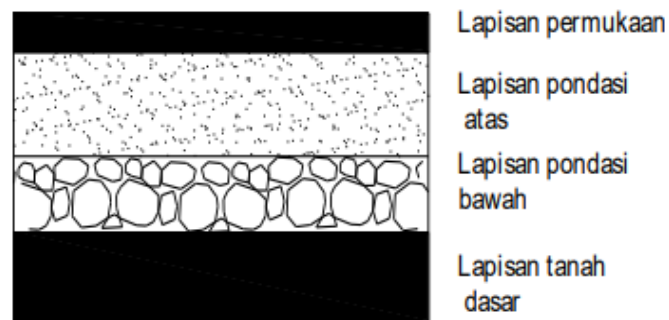
LANDASAN TEORI

3.1 *Fly Ash*

FA adalah limbah berbentuk abu dengan material berbutir halus yang merupakan hasil dari pembakaran batu bara pada PLTU yang dapat dimanfaatkan dalam proyek konstruksi terutama dijadikan *filler* dalam campuran perkerasan. Menurut SNI 2460:2014, *FA* terbagi menjadi dua kelas, yaitu kelas F dan kelas C. Kelas F yaitu bersifat pozolanik, dimana dihasilkan akibat pembakaran batu bara jenis bituminous. Sementara itu, kelas C bersifat pozolanik yang dihasilkan dari batu bara bersifat lignite dan *sub-bituminous*. Menurut Yuniarti dkk (2019), penggunaan *filler* dari limbah industri sebagai bahan pengganti pada campuran perkerasan dapat berperan penting dalam mempengaruhi kinerja perkerasan jalan. Keterbatasan hasil dari sumber daya alam menjadi salah satu faktor untuk memanfaatkan limbah sebagai *filler* pada campuran perkerasan. Namun, dalam memilih jenis *filler* harus mempertimbangkan kondisi iklim, jenis agregat, dan tipe perkerasan yang akan dikerjakan.

3.2 Perkerasan Lentur Jalan

Perkerasan lentur jalan merupakan lapisan pada konstruksi struktur yang didesain dengan memperhatikan pemilihan jenis material, ketebalan lapisan, dan metode yang cocok guna memastikan ketahanan dan kekuatan lapisan dari beban lalu lintas. Perkerasan ini berfungsi untuk mendukung keberlanjutan dan keandalan infrastruktur jalan. Menurut Sukirman (1999), perkerasan lentur merupakan jenis perkerasan dengan memanfaatkan aspal sebagai material pengikat yang lapis perkerasannya mempunyai karakteristik memikul serta mendistribusikan beban yang diterima. Adapun gambar struktur lapis perkerasan lentur sebagai berikut.



Gambar 3.1 Lapisan Perkerasan Lentur
(sumber: Sukirman. 1999)

3.3 Komponen Perkerasan Lentur Jalan

Bahan penyusun dalam implementasi perkerasan lentur jalan sangat dibutuhkan untuk memastikan keberlanjutan dan keandalan perkerasan tersebut. Pemilihan dan penggabungan komponen tentunya penting guna mencapai tujuan sesuai dengan rencana awal desain. Berikut merupakan komponen yang diperlukan dalam perkerasan lentur jalan, yaitu.

3.3.1`Aspal

Aspal merupakan bahan perekat berwarna hitam dan bersifat kohesif yang didapatkan dari residu penyulingan minyak bumi. Menurut Telehala (2023), aspal merupakan material berbentuk cairan yang tergolong senyawa hidrokarbon dengan terdapat unsur sulfur, oksigen, dan klor didalamnya serta tinggi berat molekulnya. Selain itu, aspal juga bersifat viskositas yang merupakan kekentalan dari bahan tersebut Dimana sifat tersebut berkaitan dengan temperatur akibat pemanasan aspal tersebut. Aspal memiliki fungsi untuk mengikat agregat dalam lapis perkerasan jalan. Komponen aspal umumnya bervariasi berdasarkan zat kimiawi dan ukuran molekulnya serta bergantung pada asal deposit dan cara mengolahnya. Pada umumnya, aspal memiliki bentuk kolodial dan dibentuk oleh berat molekul besar, berat molekul sedang, dan berat molekul rendah.

Aspal dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan cara mendapatkannya, antara lain.

1. Aspal Alam

Merupakan material yang berasal dari alam yang diperoleh melalui proses alamiah dari fraksionasi alami minyak bumi. Aspal alam terjadi akibat pergerakan tektonik dengan minyak bumi yang berada didalam batuan induk yang nantinya akan bergerak melewati dasar dan terjadi impregnasi batuan sekitarnya. Aspal alam memiliki sifat yang bagus untuk dimanfaatkan sebagai lapis permukaan pada perkerasan.

2. Aspal Buatan

Merupakan material yang diperoleh dari produksi dilakukan secara buatan di suatu tempat atau pabrik tertentu. Aspal jenis ini dibuat melalui proses kimia dengan bahan baku tertentu melalui tahapan modifikasi dan pengolahan sehingga menghasilkan aspal dengan sifat tertentu. Adapun jenis-jenis aspal, antara lain aspal keras, aspal cair, dan aspal emulsi. Adapun ketentuan-ketentuan dari aspal keras, dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.1 Ketentuan-Ketentuan Aspal Keras

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe 1 Aspal Penetrasi 60/70
1	Penetrasi pada 25°C (0,1mm)	SNI 06-2456-2011	60-70
2	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
3	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
4	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
5	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥ 99
6	Berat Jenis	SNI 2311:2011	≤ 1,0

Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga 2018 Revisi 2

3.3.2 Agregat

Agregat merupakan material granular yang diperoleh dari batuan alam dan pasir dan memiliki fungsi penting sebagai komponen utama dari lapis perkerasan jalan. Pada umumnya, komposisi agregat terkandung 90–95% agregat menurut presentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Menurut Jauhari dan Doda (2019), pada suatu perkerasan, agregat memiliki peran penting

dalam mempengaruhi campuran karena dapat meningkatkan kekuatan sehingga berpengaruh dalam peningkatan stabilitas dalam suatu campuran. Menurut Yuniarti dkk. (2023) besarnya kandungan yang terdapat dalam agregat dapat memengaruhi daya dukung, ketahanan terhadap deformasi, keandalan dengan syarat komponen pada campuran perkerasan telah memenuhi spesifikasi sesuai dengan syarat yang sudah ditetapkan.

Agregat memiliki peran sangat penting sebagai komposisi perkerasan jalan, karena agregat mengisi bagian dalam perkerasan yaitu lebih dari 90% (Sukirman, 2016). Pada umumnya penggunaan agregat harus memiliki ketangguhan dengan tahan terhadap abrasi untuk mengantisipasi terjadinya degradasi dan disintegrasi, karena agregat yang tidak memiliki ketangguhan terhadap abrasi dapat mengakibatkan partikel agregat melemah sehingga air dapat menembus partikel tersebut selama proses pelaksanaan. Oleh karena itu, untuk menghasilkan pengaruh yang baik pada agregat, maka dibutuhkan perencanaan agregat sesuai dengan standar spesifikasi yang sudah ditetapkan. Menurut Mehdizadeh dkk. (2018), guna memperoleh produk dengan kuantitas yang baik melalui produksi yang maksimal dengan sumber daya yang didapatkan, serta untuk meminimalisir total biaya yang lebih mahal, maka diperlukan perencanaan agregat. Tentunya perlu melaksanakan perencanaan agregat sesuai dengan jenis klasifikasi agregat yang dipakai. Adapun jenis-jenis agregat yang biasanya digunakan sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan, antara lain.

1. Agregat Kasar

Bedasarkan SNI 03-6819-2002, agregat kasar adalah salah satu jenis agregat yang ukuran butirannya tertahan saringan No.4 (4,75). Pada umumnya agregat kasar berbentuk pecahan batu atau kerikil alami berukuran 15 mm dengan maksimal ukuran butirnya yaitu 40 mm. Penggunaan agregat kasar dalam perkerasan jalan dapat membantu penyaringan air dari permukaan jalan ke lapis tanah dasar, sehingga mampu meminimalisir terjadinya akumulasi air dan kerusakan pada perkerasan. Selain itu, agregat kasar dapat menjaga stabilitas perkerasan dengan baik untuk mencegah deformasi yang kemungkinan terjadi akibat beban yang

melintas. Adapun persyaratan agregat kasar yang dipakai pada perkerasan dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Persyaratan Agregat Kasar Pada Campuran SMA

No	Pengujian		Standar	Nilai
1	Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium atau magnesium sulfat		SNI 3407:2008	Maks. 12%
2	Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	Campuran AC Modifikasi dan SMA	SNI 2417:2008	Maks. 30%
3	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya.		SNI 2417:2008	Maks. 40%
4	Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2438:2011	Min. 95%
5	Butir pecah pada agregat kasar		SNI 7619:2012	100/90*
6	Material lolos ayakan No.200		SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%
7	Partikel pipih dan lonjong		SNI 8287 : 2016 (1:5)	Maks. 5%

Catatan : (*) 100/90 menunjukkan bahwa 100% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 Revisi 2.

2. Agregat Halus

Berdasarkan SNI 03-6819-2002, agregat halus adalah salah satu jenis agregat yang ukuran butirnya lolos saringan No.4 (4,75). Agregat halus dengan kondisi baik memiliki karakteristik sendiri yaitu mengandung lumpur 5% lebih besar dari berat dan tidak mengandung bahan organik lebih banyak. Adapun persyaratan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Persyaratan Agregat Halus Pada Campuran SMA

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Material lolos ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Uji kadar rongga tanpa pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45%

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 Revisi 2.

3. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi atau *filler* merupakan salah satu jenis agregat berbentuk butiran halus yang lolos saringan No.200 (0,075 mm). Pada perkerasan, *filler* digunakan sebagai bahan pengisi untuk meminimalisir jarak antar rongga dari material lain yaitu agregat halus dan agregat kasar. Selain itu, *filler* juga berfungsi untuk meningkatkan ketahanan dan kekuatan yang berpengaruh pada meningkatnya kekuatan tarik, tekan, dan geser dari material pada perkerasan.

3.3.3 Gradasi Agregat

Pada umumnya, gradasi agregat bisa dikatakan sebagai distribusi dari variasi ukuran butir agregat yang memiliki pengaruh pada besar kecilnya rongga dalam campuran. Penggunaan gradasi agregat pada material perkerasan mempengaruhi *workabilitas* dan stabilitas pada campuran perkerasan yang dipakai. Gradasi agregat dapat didapat dengan analisa saringan melalui satu set ayakan yang sudah ditentukan. Pada satu set saringan tersebut dapat diketahui bahwa bagian atas saringan merupakan saringan terbesar dan semakin kebawah akan semakin mengecil. Adapun persyaratan gradasi agregat dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Gradasi Agregat Gabungan Campuran SMA

Ukuran Ayakan		% Berat yang lolos	
ASTM	(mm)	SMA Kasa (Tebal rancangan min. 5,0 cm)	SMA Halus (Tebal rancangan min. 4,0 cm)
1"	25	100	-
3/4"	19	90-100	100
1/2"	12,5	50-88	90-100
3/8"	9,5	25-60	50-80
No. 4	4,75	20-28	20-35
No. 8	2,36	16-24	16-24
No.200	0,075	8-11	8-11

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 Revisi 2.

3.3.4 Bahan Aditif

Bahan aditif merupakan bahan tambah yang dapat digunakan untuk mengubah sifat-sifat dan meningkatkan kinerja perkerasan jalan dengan cara menambahkannya ke campuran perkerasan yang dipakai. Salah satu contoh penggunaan bahan aditif pada campuran perkerasan *SMA* yaitu dengan menggunakan serat selulosa. Pemanfaatan serat selulosa sebagai bahan aditif pada campuran perkerasan tersebut berguna untuk meningkatkan stabilitas, *ductility*, serta dapat meredam retakan dan deformasi. Menurut (Purbanto dkk 2022), serat selulosa membantu mengurangi aliran aspal yang disebabkan oleh kadar aspal yang berlebihan dengan menyerap kelebihan aspal,

Serat selulosa yang digunakan pada penelitian ini yaitu Viatop⁶⁶. Viatop⁶⁶ adalah jenis serat selulosa sintetis yang dihasilkan melalui proses modifikasi kimia dari selulosa alami. Viatop⁶⁶ berfungsi sebagai bahan pengikat dan penguat, membantu mengikat agregat bersama-sama untuk meningkatkan kohesi dan stabilitas campuran, serta memperkuat matriks campuran yang dapat mengurangi kerusakan saat terkena suhu tinggi. Selain itu, Viatop⁶⁶ dikenal dengan kemampuan penyerapan air yang tinggi, guna menjaga stabilitas kelembapan, sehingga mengurangi kemungkinan penguapan air yang berlebihan. Menurut Tegalaksana, (1994), spesifikasi dari *Arbocel* yaitu sebagai berikut.

1. Kadar Selulosa : 75 – 80%
2. Ph : $7,5 \pm 1$ (basah)
3. Panjang serat maksimum : 5000 mikron
4. Panjang serat rata-rata : 1100 mikron
5. Tebal serat rata-rata : 45 mikron
6. Ketahanan terhadap solvent : baik pada kondisi
7. Ketahanan terhadap pemanasan: baik sampai 250°C

Adapun persyaratan serat selulosa dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Bahan Aditif Serat Selulosa

Pengujian	Satuan	Persyaratan
Serat:		
Panjang Serat	Mm	6,35
Lolos ayakan No.20	%	85 ± 10
No. 40	%	40 ± 10
No. 140	%	$30 \pm 1,0$
Ph	-	$7,5 \pm 1,0$
Aborsi minyak	-	$7,5 \pm 1,0$ kali berat serat selulosa
Kadar air	%	Maks. 5
Bentuk pelet :		
Diameter	Mm	3,8 – 4,0
Panjang	Mm	5,9 – 6,1

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 Revisi 2.

3.4 Campuran Perkerasan *SMA*

SMA merupakan beton aspal campuran panas yang memaksimalkan penggunaan agregat kasar dan kadar aspal yang tinggi. Kemudian diisi dengan mastik aspal, yang merupakan campuran agregat halus, *filler*, aspal, dan serat selulosa, sehingga dapat memperkuat aspal dengan mengurangi pengaliran aspal yang disebabkan oleh kadar aspal yang tinggi. *SMA* menawarkan keunggulan dalam ketahanan terhadap deformasi, retak, dan keausan, membuatnya ideal untuk jalan raya yang memerlukan stabilitas tinggi dan umur panjang. Menurut Alpius dkk (2022), *SMA* didesain guna mengatasi potensi kerusakan roda kendaraan ketika aus melalui daya tahan yang bagus dan durasi yang lama. *SMA* merupakan jenis campuran perkerasan yang dimanfaatkan untuk meningkatkan kualitas perkerasan jalan. *SMA* memiliki beberapa karakteristik sendiri, yaitu tahan terhadap deformasi karena memiliki tingkat ketahanan dan kekuatan yang baik. Adapun persyaratan campuran *SMA* dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.6 Persyaratan Campuran SMA

Sifat – Sifat Campuran		Persyaratan	
		SMA	SMA Mod
Jumlah tumbukan per bidang		50	
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3,0	
	Maks.	5,0	
Rongga dalam agregat (<i>VMA</i>) (%)	Min.	17	
Rasio VCA_{MIX}/VCA_{DRC}		<1	
<i>Draindown</i> pada temperatur produksi % berat dalam campuran (waktu 1 jam)	Maks.	0,3	
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min.	600	750
Pelelehan, mm	Min.	2	
	Maks.	4,5	
Stabilitas <i>Marshall</i> sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C	Min.	90	
Stabilitas dinamis, lintasan/mm	Min	2500	3000

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 Revisi 2.

3.5 Parameter Karakteristik Pengujian *Marshall*

Marshall Test merupakan metode pengujian yang dipakai untuk campuran perkerasan aspal panas dengan mengukur nilai beban maksimum dan mengetahui deformasi tetap dari benda uji sebelum hancur. Pada umumnya, metode ini dilakukan menggunakan dengan benda uji dengan diameter 4 inch dan tinggi 2,5 inch. Adapun karakteristik yang dapat dilihat dari pengujian *Marshall*, antara lain stabilitas (*stability*), kelelahan (*Flow*), *VMA*, dan *Density*.

3.5.1 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas adalah kesanggupan suatu perkerasan jalan dalam mempertahankan bentuk tetap seperti alur, gelombang, dan *bleeding* ketika menahan beban yang diterima. Tingkat stabilitas yang tinggi dibutuhkan sangat dibutuhkan untuk jalan yang diperkirakan akan dilalui lalu lintas dengan volume tinggi (Wermintoro dkk. 2022). Melalui nilai stabilitas yang muncul dapat menunjukkan kekuatan campuran perkerasan dalam menerima beban untuk menahan deformasi. Berdasarkan hal tersebut, stabilitas dapat diartikan kesanggupan suatu campuran perkerasan dalam

meminimalisir kerusakan yang terjadi akibat beban yang diterima. Adapun nilai stabilitas dapat dilihat pada Persamaan 3.1 dan grafik keterkaitan antara nilai stabilitas dan kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.

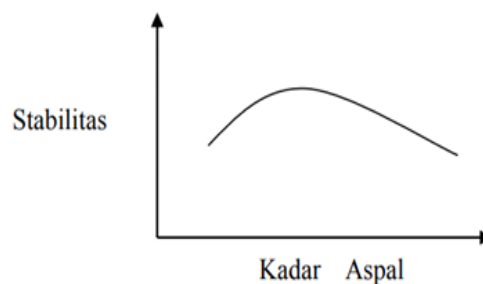
$$q = p \times s \quad (3.1)$$

Keterangan :

q = angka stabilitas,

p = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat, dan

s = angka koreksi tebal benda uji.

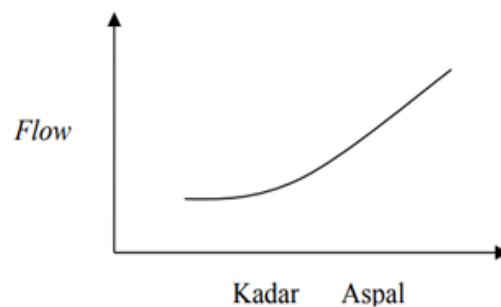


Gambar 3.2 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas

(Sumber : Sukirman, 1992)

3.5.2 Kelelahan (*Flow*)

Menurut Wermintoro dkk. (2022), kelelahan (*Flow*) adalah kesanggupan perkerasan untuk meminimalisir terjadinya alur dan retak dalam menerima dan menahan lendutan secara berulang yang dihasilkan dari repetisi beban. *Flow* bisa diartikan keadaan Dimana suatu perkerasan berada dalam kondisi yang berubah dari awalnya sampai mencapai titik rusaknya sebagai tanda telah terjadi respon akibat beban. Nilai *flow* dapat diukur dalam satuan panjang melalui *flowmeter* untuk mengetahui deformasi yang terjadi akibat menerima beban. Adapun grafik hubungan antara nilai kelelahan dan kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *Flow*

(Sumber : Sukirman, 1992)

3.5.3 *Marshall Quotient*

MQ merupakan nilai yang dihasilkan dari pembagian antara nilai stabilitas dan nilai *Flow*. Melalui nilai *MQ*, dapat diketahui terkait kualitas aspal akan dalam kondisi lebih keras campurannya ketika nilai *MQ* yang dihasilkan tinggi. Sementara itu, ketika nilai *MQ* yang muncul rendah, maka dapat dikatakan bahwa campuran cenderung tidak stabil karena perkerasan bersifat lebih lentur (Wermintoro dkk. 2022). Berdasarkan hal tersebut, nilai *MQ* dapat dijadikan sebagai indikator dalam melakukan evaluasi kinerja campuran perkerasan karena memiliki pengaruh yang cukup tinggi terhadap stabilitas perkerasan tersebut. Adapun nilai *MQ* dapat didapatkan dari Persamaan 3.2 dan grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *MQ* dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.

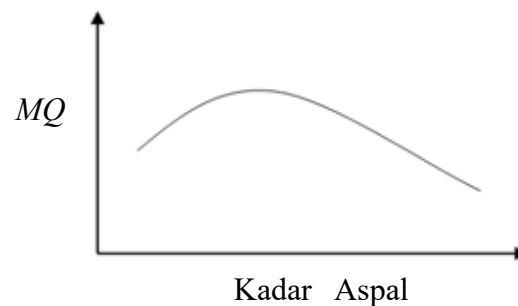
$$MQ = \frac{q}{r} \quad (3.2)$$

Keterangan

MQ = Nilai *MQ* (kg/mm),

q = Nilai stabilitas (kg), dan

r = nilai *flow* (mm).



Gambar 3.4 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai MQ
(Sumber : Sukirman, 1992)

3.5.4 *Void in Mineral Agregate*

Menurut Wermintoro dkk. (2022), *VMA* merupakan rongga diantara agregat dimana pada suatu perkerasan terdapat ruang antara partikel agregat yang terdapat volume aspal efektif dan rongga udara. Nilai *VMA* diperoleh dari berat jenis bulk agregat yang dinyatakan dalam bentuk persen volume campuran yang dipadatkan, dimana terdapat distribusi ukuran agregat, intensitas agregat yang hancur, dan kandungan aspal yang mempengaruhi nilai tersebut. Pada suatu campuran perkerasan, nilai *VMA* yang tinggi mempengaruhi kesanggupan campuran dalam menahan penetrasi udara dan air. Adapun nilai *VMA* didapatkan dari Persamaan 3.3 dan Persamaan 3.4 serta grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *VMA* dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.

$$I = 100 - j \quad (3.3)$$

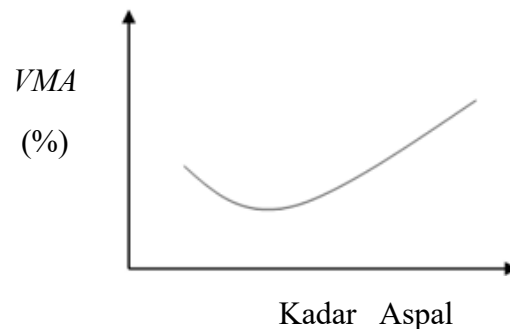
$$j = \frac{(100-b) \times g}{BJ \text{ Agregat}} \quad (3.4)$$

Keterangan :

I = Nilai *VMA* (%)

b = Persentase aspal terhadap campuran (%), dan

g = Berat isi sampel (gr/cc).



Gambar 3.5 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai VMA

(Sumber : Sukirman, 1992)

3.5.5 Density

Kepadatan atau *Density* merupakan berat dari campuran dalam setiap satuan volume yang dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi dan berat jenis agregat, serta proses pemadatannya. Beban yang lebih berat akan lebih mudah ditahan campuran yang memiliki tingkat kepadatan tinggi dan berbanding terbalik dengan sebaliknya. Adapun nilai kepadatan diperoleh dari Persamaan 3.5 dan Persamaan 3.6, serta grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai kepadatan dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.

$$g = \frac{c}{f} \quad (3.5)$$

$$f = d - e \quad (3.6)$$

Keterangan :

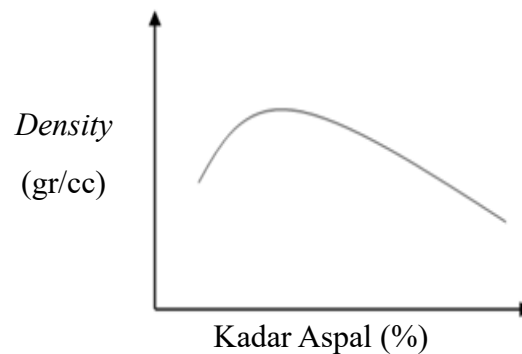
g = Nilai *Density* (gr/cc),

c = Berat benda uji sebelum direndam (gr),

d = Berat benda uji dalam keadaan jenuh / *SSD* (gr),

e = Berat dalam air (gr), dan

f = Volume / isi (cm³).



Gambar 3.6 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *Density*
(Sumber : Sukirman, 1992)

3.5.6 *Void Filled With Asphalt*

VFWA merupakan nilai yang didapatkan untuk memperoleh besarnya rongga dalam aspal yang mengisi campuran. Nilai *VFWA* mempengaruhi keawetan lapis keras, karena semakin besar aspal yang menutup rongga udara maka semakin tinggi kekedapan campuran perkerasan terhadap udara dan air. Begitu juga sebaliknya, akan terjadi *bleeding* apabila kadar pori rendah dengan nilai *VFWA* yang didapatkan terlalu tinggi. Nilai *VFWA* diperoleh dari Persamaan 3.7 dan Persamaan 3.8, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *VFWA* dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut.

1. Persentasi aspal terhadap campuran

$$b = \frac{a}{100 + a} \times 100 \quad (3.7)$$

Keterangan :

a = Persentasi aspal terhadap batuan, dan

b = persentasi aspal terhadap campuran.

2. Persentasi aspal terhadap agregat

$$m = 100 \times \frac{1}{1} \quad (3.8)$$

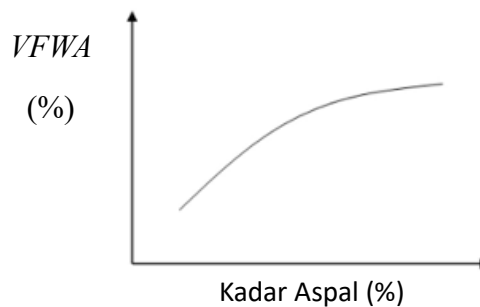
$$b = \frac{b \times g}{BJ \text{ Aspal}} \quad (3.9)$$

Keterangan :

m = $VFWA$ (%),

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

b = Persentase aspal terhadap campuran (%).



Gambar 3.7 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai $VFWA$
(Sumber : Sukirman, 1992)

3.5.7 Void in the Total Mix

$VITM$ merupakan nilai dalam campuran perkerasan total yang terdapat persentase rongga didalamnya. Nilai $VITM$ dapat mempengaruhi kekakuan dan kekedapan campuran dari udara dan air, karena tingginya nilai $VITM$ berpengaruh pada keawetan dari lapis keras akibat besarnya rongga yang ada. Sementara itu, pada lapis keras akan mengalami *bleeding* apabila nilai $VITM$ yang diperoleh rendah, tetapi stabilitas akan lebih tinggi sehingga lebih tahan terhadap deformasi. Adapun nilai $VITM$ dapat diperoleh dengan Persamaan 3.10 dan Persamaan 3.11 serta grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai $VITM$ dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut.

$$n = \left(100 - \frac{g}{h} \right) \quad (3.10)$$

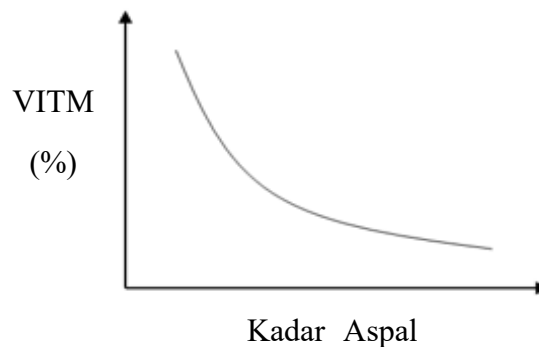
$$h = 100 - \left(\frac{100}{\left(\frac{\% \text{ Agregat}}{BJ \text{ Agregat}} + \frac{\% \text{ Aspal}}{BJ \text{ Aspal}} \right)} \right) \quad (3.11)$$

Keterangan :

n = Nilai *VITM*,

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

h = Berat jenis maksimum teoritis campuran.



Gambar 3.8 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *VITM*

(Sumber : Sukirman, 1992)

3.6 Pengujian *Indirect Tensile Strength*

Menurut Purbanto dkk. (2022), pengujian *ITS* merupakan suatu metode pengujian yang bersifat mengevaluasi kekuatan tarik dan dilakukan untuk memperoleh nilai kuat tarik tidak langsung. Secara khusus, kemampuan campuran perkerasan dalam menerima beban tarik dari tegangan maksimum dapat diketahui melalui nilai yang dihasilkan dari pengujian *ITS*. Pada umumnya, metode ini dilakukan untuk mengetahui potensi kerusakan atau deformasi yang akan terjadi pada campuran perkerasan. Adapun nilai *ITS* dapat dihitung melalui Persamaan 3.12 berikut.

$$ITS = \frac{P_{runtuh}}{h} \times A_0 \quad (3.12)$$

Keterangan :

ITS = Kuat tarik tidak langsung (kg/cm²),

P_{runtuh} = Beban puncak (kg),

h = Tinggi sampel (cm), dan

A_0 = Konstanta.

3.7 Pengujian *Cantabro Loss*

CL merupakan metode pengujian yang dilakukan menggunakan mesin *Los Angeles* dengan tujuan untuk mengetahui sifat disintegrasi dari ketahanan campuran aspal. Pengujian *CL* dilakukan dengan cara mendiamkan benda uji yang telah dipadatkan dan ditumbuk sebanyak 50 kali di tiap sisi selama 48 jam. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji didiamkan selama 6 jam dalam temperatur ruang yang harus dijaga suhunya agar tetap. Pada saat dilakukan pengujian, masukkan benda uji ke mesin *Los Angeles* lalu jalankan dengan kecepatan 30-33 rpm sampai 300 putaran tanpa menggunakan bola baja. Setelah selesai dilakukan pengujian, timbang benda uji untuk mendapatkan data setelah diuji. Adapun perhitungan untuk mengetahui presentase kehilangan berat dari benda uji, yaitu dengan Persamaan 3.13 berikut.

$$L = \frac{M_o - M_i}{M_o} \times 100\% \quad (3.13)$$

Keterangan

M_o = Berat sebelum diabrasi (gr),

M_i = Berat setelah diabrasi (gr), dan

L = Persentase kehilangan Berat (%).

3.8 Pengujian Perendaman *Index of Retained Strength*

Pengujian *IRS* merupakan jenis metode pengujian yang dilakukan untuk mengevaluasi campuran perkerasan dari pengaruh air. Hasil yang didapatkan dari pengujian tersebut berupa persentase nilai dari stabilitas campuran pengaruh rendaman selama 0,5 jam dan 24 jam (S_2) dengan dibandingkan campuran biasa (S_1). Adapun perhitungan dari uji *IRS* dapat dilihat melalui Persamaan 3.14 berikut.

$$IRS = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \quad (3.14)$$

Keterangan :

S_1 = Stabilitas setelah direndam selama 0,5 jam, dan

S_2 = Stabilitas setelah direndam selama 24 jam.

3.9 Pengujian *Tensile Strength Ratio*

Pengujian *TSR* merupakan jenis metode pengujian, dimana bisa dikatakan indeks kuat tarik tidak langsung dihasilkan dari variasi perendaman. Secara khusus, pengujian ini memiliki syarat tertentu untuk memenuhi standar minimumnya, yaitu harus lebih besar dari 80%. Adapun perhitungan untuk mendapatkan nilai *TSR* dapat dilihat pada Persamaan 3.15 berikut.

$$TSR = (T_2/T_1) \times 100 \quad (3.15)$$

Keterangan :

S_1 = Rata-rata nilai *ITS* tanpa rendaman (kg), dan

S_2 = Rata-rata nilai *ITS* setelah perendaman 24 jam (kg).

3.10 *Void in Coarse Aggregate*

VCA merupakan jenis metode pengujian yang dilakukan dengan tujuan untuk menentukan volume dari ruang kosong yang ada pada agregat kasar dalam campuran aspal. *VCA* juga bertujuan untuk mengetahui kepadatan pada campuran serta dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas agregat kasar. Berdasarkan AASHTO, Nilai VCA_{mix} harus lebih kecil dari nilai VCA_{drc} . Adapun untuk mendapatkan nilai VCA_{drc} dapat dilakukan perhitungan sesuai dengan Persamaan 3.16, sementara itu untuk nilai VCA_{mix} dapat dihitung melalui Persamaan 3.17 berikut.

$$VCA_{DRC} = \frac{G_{CA}Y_w - Y_s}{G_{CA}Y_w} \times 100 \quad (3.16)$$

Keterangan :

VCA_{DRC} = Volume pori antara agregat kasar pada kondisi *dry-rodded*,

G_{CA} = Berat jenis *bulk* dari fraksi campursn agregat kasar,

Y_s = Berat satuan fraksi agregat kasar dalam *dry-rodded* (kg/m³), dan

Y_w = Berat satuan air (kg/m³), tergantung temperatur pengukuran.

$$VCA_{mix} = 100 - (G_{mb}/G_{CA}).P_{CA} \quad (3.17)$$

Keterangan :

VCA_{mix} = Volume pori agregat kasar pada campuran *SMA* yang dipadatkan.

G_{mb} = Berat jenis *bulk* campuran aspal yang telah dipadatkan,

G_{CA} = Berat jenis *bulk* dari fraksi campuran agregat kasar, dan

P_{CA} = Prosentasi fraksi campuran agregat kasar total campuran aspal.

3.11 Pengujian *Draindown*

Draindown merupakan keadaan ketika aspal dan agregat memisahkan diri secara keseluruhan dari sampel dan mengalir ke bawah dari campuran. Pengujian *draindown* dilakukan pada campuran dengan kadar aspal optimum dengan tujuan untuk mengetahui aliran aspal yang terdapat pada campuran *SMA* sesuai dengan ketentuan yang sudah ditetapkan yaitu $< 0,3\%$ dari berat campuran (SNI 8129:2015). Adapun perhitungan untuk mendapatkan nilai *draindown* dapat dilihat pada Persamaan 3.18 berikut.

$$Draindown = \frac{A-B}{C} \times 100 \quad (3.18)$$

Keterangan :

Draindown = Persentase agregat dan aspal yang tertinggal (%),

A = Berat akhir piring penampang (gr),

B = Berat awal piring penampung (gr), dan

C = Berat awal jumlah campuran yang diuji (gr).

3.12 Karakteristik Beton Aspal

Beton aspal merupakan jenis perkerasan yang campurannya terdiri dari agregat halus, agregat kasar, dan *filler*. Beton aspal juga bisa diartikan sebagai jenis perkerasan pada konstruksi jalan yang menggunakan kombinasi agregat keras dan agregat bergradasi menerus lalu dihamparkan dan dipadatkan dalam kondisi suhu panas tertentu. Adapun beberapa karakteristik beton aspal, yaitu.

3.12.1 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas merupakan kesanggupan lapis perkerasan dalam menahan beban yang diterima dengan tetap mempertahankan bentuk tanpa ada perubahan, seperti alur, *bleeding*, atau gelombang. Butir agregat yang saling mengikat dan kohesi dari daya lekatnya merupakan gesekan internal yang menjadi faktor stabilitas dalam mempertahankan tekanan yang terjadi antara butir agregat yang tercampur. Stabilitas yang baik pada aspal beton dapat meminimalisir terjadinya retak atau depresi karena kemampuannya dalam menahan deformasi permanen.

3.12.2 Keawetan (*Durability*)

Keawetan merupakan sifat dari beton aspal yang memiliki kemampuan untuk menahan keausan yang disebabkan oleh suhu, air, atau gesekan dari kendaraan yang melintas. Menurut Sukirman (2016), ketebalan selimut aspal, rongga yang terhitung banyak dalam campuran, serta kekedapan campuran terhadap air mampu mempengaruhi durabilitas beton aspal.

3.12.3 Kelenturan (*Flexibility*)

Kelenturan merupakan kesanggupan lapis perkerasan dalam menahan dan mengikuti atau menyesuaikan deformasi yang disebabkan beban kendaraan yang melintas secara berulang tanpa menimbulkan perubahan volume dan keretakan. Hal tersebut juga dipengaruhi berat timbunan yang ada diatas tanah asli sehingga mengalami konsolidasi. Agregat dengan jenis gradasi terbuka dan dikombinasikan dengan kadar aspal tinggi dapat membantu untuk meningkatkan kelenturan.

3.12.4 Tahanan Geser atau Kekesatan (*Skid Resistance*)

Tahanan geser atau kekesatan merupakan kemampuan dari perkerasan yang menjaga kendaraan yang melintas agar tidak mengalami slip pada roda baik itu dalam kering maupun basah. Hal tersebut terjadi karena kekesatan mampu memberikan gaya gesek pada kendaraan sehingga roda tetap terjaga untuk tidak tergelincir. Tekstur kasar pada butir agregat dan luas bidang kontak antar butir berpengaruh pada kekesatan karena mampu menimbulkan daya tahan.

3.12.5 Kedap Air (*Impermeabilitas*)

Kedap air merupakan kesanggupan beton aspal untuk menahan air yang masuk menuju lapis beton aspal. Hal tersebut dapat menjaga aspal beton dari proses

percepatan penuaan dan pengelupasan selimut aspal dari permukaan agregat. Pada umumnya, sifat ini berbanding terbalik dengan durabilitas, karena tingkat kerentanan terhadap kerusakan aspal akan rendah jika kedap air pada campuran beton aspal tinggi. Secara khusus, kekedapan air campuran dapat diketahui dari jumlah pori yang tersisa sesudah beton aspal dipadatkan.

3.12.6 Ketahanan Kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Ketahanan kelelahan merupakan kemampuan aspal beton dalam menahan beban yang diterima secara berulang tanpa menimbulkan retak dan alur. Hal tersebut dapat diperoleh apabila kadar aspal ditingkatkan menjadi lebih tinggi (Sukirman, 2016). Secara khusus, kandungan kadar aspal mampu memberikan ketahanan terhadap campuran aspal untuk meningkatkan resistensi jika terjadi deformasi karena rongga antar agregat dapat diisi oleh kandungan aspal yang lebih tinggi.

3.12.7 Kemudahan Pelaksanaan (*Workability*)

Kemudahan pelaksanaan merupakan kemampuan dalam penghamparan dan pemadatan suatu campuran yang dapat dilakukan dengan mudah sehingga dapat sesuai dengan rencana yang diharapkan. Efisiensi dalam sebuah pekerjaan tentunya berdasarkan kemudahan yang dirasakan pada setiap tahapan yang dilakukan. Pada umumnya, kepekaan aspal pada perubahan cuaca atau temperatur, viskositas aspal, dan kondisi agregat tentunya mempengaruhi tingkat kemudahan pelaksanaan tersebut.

3.13 Analisis Statistik *ANOVA*

Pada penelitian ini, menggunakan analisis statistik *ANOVA*. Uji statistik *ANOVA* pada campuran *SMA* digunakan untuk menentukan apakah ada perbedaan signifikan terhadap penggunaan *filler FA* antara beberapa jenis campuran atau metode dalam pembuatan dan pengujian aspal. *SMA* adalah jenis campuran aspal yang dirancang untuk menghasilkan kekuatan tinggi, stabilitas, dan daya tahan yang baik terhadap deformasi permanen (*rutting*), serta resistensi terhadap keausan dan kerusakan dari lalu lintas berat. Pada konteks *SMA*, *ANOVA* bisa digunakan untuk

menganalisis variabel-variabel seperti proporsi bahan, kualitas agregat, atau jenis bahan tambahan seperti serat atau polimer.

Adapun data yang dimasukkan meliputi karakteristik *marshall*, *CL*, *draindown*, *ITS*, *TSR*, *IRS*, dan *VCA*. Data tersebut dijadikan alat statistik untuk dianalisis guna memperoleh kesimpulan dari hasil penelitian. Berikut langkah-langkah yang dilakukan dalam uji statistik *ANOVA*.

1. Merumuskan hipotesis nol (H_0) dan hipotesis alternatif (H_1) untuk mengevaluasi dampak dari tiap variable faktor. Rumusan hipotesis dijelaskan pada Persamaan 3.19 dan 3.20 berikut.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots \dots \dots \mu_k \quad (3.19)$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \dots \dots \neq \mu_k \quad (3.20)$$

2. Membandingkan nilai F didapatkan melalui perhitungan dari nilai F tabel. Harga F yang diperoleh dari perhitungan disebut F hitung (F_h), dan memiliki distribusi F dengan derajat kebebasan pembilang ($m-1$) dan penyebut ($N-1$) yang ditentukan. Apabila F_h kurang atau sama seperti F_t ($F_h \leq F_t$), maka H_1 diterima tetapi H_0 ditolak. Begitupun, apabila F_h lebih besar dari F_t ($F_h > F_t$), H_0 ditolak tetapi H_1 diterima.
3. Penentuan keputusan nol (H_0) dan hipotesis alternatif (H_1).
 H_0 : Tidak terdapat perbedaan yang signifikan.
 H_1 : Terdapat perbedaan secara signifikan.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, dimana untuk memperoleh data pada metode tersebut dilaksanakan dengan melakukan pengamatan dan percobaan. Sebelum dilakukan penelitian, semua data yang telah didapat diolah dahulu. Selanjutnya, ketika olah data selesai dilakukan maka bisa didapatkan perbandingan tentang minimum spesifikasi yang sudah ditentukan. Prosedur penelitian dan minimum spesifikasi yang ditentukan berdasarkan ketetapan dari Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

4.2 Metode Pengambilan Sampel

Penelitian ini menggunakan metode *non-probability sampling* dalam pengambilan sampel, dimana untuk sampel yang dipilih tidak diambil secara acak. Metode yang dilakukan dengan menggunakan *purposive sampling*, dimana tujuan menjadi acuan dalam mengambil sampel. Sampel yang diambil dalam penelitian ini harus berdasarkan dengan syarat tertentu sesuai dengan tujuan akhir yang ingin dicapai. Sampel yang digunakan pada penelitian ini menggunakan *FA* yang diperoleh dari PLTU Kabupaten Batang, Jawa Tengah serta menggunakan aspal Pertamina dengan tipe penetrasi 60/70.

4.3 Metode Pengambilan Data

Penelitian ini dilakukan dengan melalui proses pengujian untuk mendapatkan data yang ingin didapatkan. Proses pengambilan data dilakukan dengan pengelompokan benda uji dengan tujuan untuk mempermudah proses tersebut. Melalui pengelompokan benda uji, maka diperoleh nilai stabilitas, *Flow*, *MQ*, *VITM*, *VMA*, *VFWA*, *VCA Density*, *ITS*, *TSR*, *Draindown*, dan nilai *CL*.

4.4 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan sepenuhnya di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Adapun beberapa tahapan yang perlu dilakukan dalam penelitian ini, meliputi persiapan dan pemeriksaan, pembuatan benda uji, perencanaan campuran, pembuatan campuran, pengujian *Marshall*, pengujian *ITS*, pengujian *TSR*, pengujian *IRS*, pengujian *Draindown*, pengujian *CL* dan pengujian *VCA*.

4.4.1 Persiapan dan Pemeriksaan

Dalam penelitian pembuatan benda uji untuk campuran *SMA*, material yang digunakan meliputi agregat, *filler*, dan aspal. Penelitian ini mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Adapun tahapan dalam persiapan dan pemeriksaan material, yaitu.

1. Pengujian Agregat

a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Tujuan dari pengujian tersebut yaitu untuk mendapatkan nilai berat jenis semu, berat jenis kering permukaan jenuh atau *Saturated Surface Dry (SSD)*, berat jenis curah, dan penyerapan air.

b. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus sesuai

Tujuan dari pengujian tersebut yaitu untuk mendapatkan nilai berat jenis semua, berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*), berat jenis curah, dan angka penyerapan air.

c. Pengujian kelekatan agregat terhadap aspal

Tujuan dari pengujian tersebut yaitu untuk mendapatkan nilai tingkat kelekatan agregat terhadap aspal.

d. Pengujian *Sand Equivalent*

Tujuan dari pengujian tersebut yaitu untuk memperoleh nilai kadar lumpur atau debu ataupun bahan lempung pada agregat halus.

e. Pengujian abrasi pada mesin *Los Angeles*

Tujuan dari pengujian tersebut yaitu untuk mendapatkan nilai tingkat ketahanan agregat kasar yang disebabkan oleh keausan yang terjadi dengan menggunakan mesin *Los Angeles*.

f. Pengujian analisa saringan

Tujuan dari pengujian tersebut yaitu untuk menentukan gradasai agregat kasar, agregat halus, dan *filler* yang dilakukan dengan satu set saringan.

2. Pengujian Aspal

Aspal merupakan material perekat yang bersifat melekat, pekat. Viskositas, dan tahan terhadap pelapukan. Pada dasarnya, aspal dapat perlahan melunak atau meleleh jika dipanaskan, tetapi tidak termasuk material yang dapat menguap. Jenis aspal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu jenis aspal AC 60/70. Adapun pengujian yang akan dilaksanakan sebagai berikut.

a. Pengujian berat jenis aspal

Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk memperoleh nilai berat jenis aspal yang akan digunakan

b. Pengujian daktilitas

Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk memperoleh nilai kelenturan dan kohesi pada aspal. Prosedur pengujian ini yaitu dengan meletakkan aspal pada dua cetakan yang berbeda dengan suhu 25°C lalu aspal ditarik dengan kecepatan 500mm/menit. Selanjutnya, untuk melakukan pengukuran nilai daktilitas maka perlu mengukur jarak terpanjang aspal sebelum putus.

c. Pengujian penetrasi

Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mendapatkan tingkat kekerasan bitumen melalui jaruk ukuran 0,1mm, waktu, serta beban pada temperatur tertentu.

d. Pengujian kelarutan pada *Trichlor Ethylen (TCE)*

Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mendapatkan tingkat kelarutan aspal dengan menggunakan larutan *TCE*, dimana didapatkan nilai kemurnial dari aspal tersebut.

e. Pengujian titik nyala dan titik bakar

Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mendapatkan suhu dari aspal saat nyala (titik nyala) terjadi diatas permukaan aspal lalu aspal terbakar selama 5 detik pada titik tertentu (titik bakar).

f. Pengujian titik lembek

Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk memperoleh nilai dari titik lembek yang kisaran nilainya diantara 30° hingga 200°C.

3. Pengujian *Filler*

Filler merupakan bahan pengisi pada untuk campuran perkerasan yang berbentuk butiran halus. Selain itu, *filler* bisa dikatakan sebagai fraksi debu mineral lolos saringan No.200 (0,074 mm). Pengujian *filler* harus sesuai dengan ketentuan yang sudah ditetapkan.

4.4.2 Persiapan Alat

Peralatan disediakan dari Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang nantinya digunakan untuk mendukung penelitian ini. Adapun peralatan tersebut sebagai berikut.

1. Peralatan untuk pengujian agregat, berupa satu set analisa saringan, mesin *Los Angeles*, tabung *Sand Equivalent*, dan *Vibrator*.
2. Peralatan untuk pengujian aspal, berupa alat uji daktilitas, penetrasi, kelarutan aspal, titik nyala, titik bakar, dan titik lembek.
3. Cetakan benda uji (*mold*) yang berdiameter 10 cm dan tinggi 7,5 cm.
4. Peralatan untuk pengujian *Marshall*, yaitu sebagai berikut.
 - a. Cincing penguji dengan kapasitas 2500 kg dengan ketelitian 12,5 kg
 - b. Kepala penekan dengan bentuk lengkung (*breaking head*)
 - c. Arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm.
 - d. Arloji penunjuk *flow* dengan ketelitian 0,25 mm termasuk perlengkapannya.
5. *Compactor* untuk penumbuk benda uji dengan berat 4,536 kg dengan tinggi jatuh beban 45,7 cm.
6. *Ejector* untuk mengeluarkan benda uji dari cetakan.
7. Timbangan dengan kapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gr dan kapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gr dilengkapi dengan penggantung.
8. *Waterbath* untuk merendam benda uji sebelum pengujian dilakukan dilengkapi dengan pengatur suhu minimum 20°C.

9. Oven untuk memanaskan benda uji dengan pengatur temperatur hingga 200 ± 3 °C.
10. Peralatan uji *ITS* dan *TSR* meliputi.
 - a. Alat ukur tekan selebar 0,5 inchi.
 - b. Arloji stabilitas dan *Flow* dengan ketelitian 0,25 mm.
 - c. Alat pendukung berupa *thermometer*, spatula, kompor, wajan, gelas ukur, Nampak, bak, kain lap, jangka sorong, dan sebagainya.
11. Alat pengujian *VCADRC*
 - a. Silinder takaran berdiameter 150 mm dan tinggi 159 mm.
 - b. Timbangan dengan kapasitas > 5 kg dengan ketelitian 1 gr.
 - c. Oven guna memanaskan agregat dan *thermometer*.
 - d. *Tamping rod* dengan diameter 16 mm dan panjang 600 mm.
 - e. Alat pendukung berupa spatula, sendok, nampan, sarung tangan anti panas, dan sebagainya.
12. Alat pengujian *Draindown*
 - a. Timbangan
 - b. Oven
 - c. Keranjang kawan berbentuk silinder dengan diameter 108 mm dan 165 mm, serta ukuran lubang jaringnya selebar 3,65 mm (1/4 inchi)
 - d. Piring alumunium untuk alas penampang aspal atau lelehan *mastic*.

4.4.3 Persiapan Campuran

Adapun perencanaan benda uji untuk campuran *SMA* 25 mm sesuai pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 sebagai berikut.

1. Menentukan komposisi agregat.
2. Menentukan kombinasi kadar aspal dalam campuran melalui perhitungan Pb.
3. Membuat benda uji dengan 2 x 50 tumbukan dengan alat pemadat *Marshall*.
4. Menentukan nilai KAO sesuai dengan persyaratan berikut.
 - a. *VMA* dengan syarat minimum 17%.
 - b. *VITM* dengan syarat maksimum 5% dan minimum 3%.
 - c. Syarat minimum sebesar 600 kg untuk stabilitas *Marshall*.

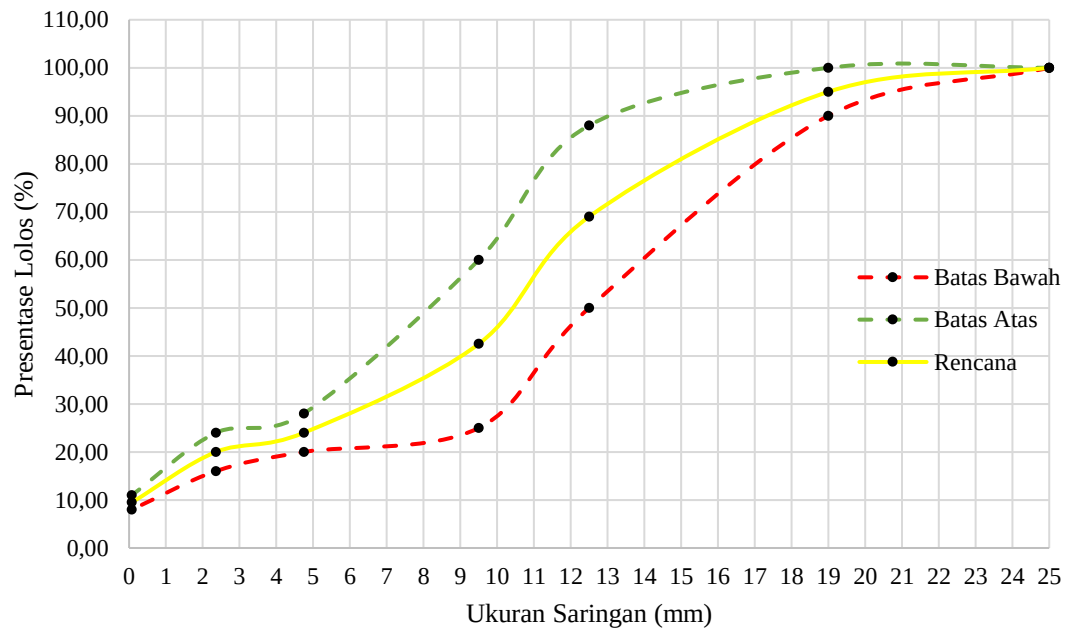
- d. Syarat maksimum 4,5 mm dan minimum 2 mm untuk *Flow* campuran.
- e. Syarat maksimum 0,3% untuk *Draindown*.
- f. Syarat minimum 90% untuk *IRS*, dan
- g. Syarat minimum 1 untuk *VCA*.

Pada campuran *SMA* 25 mm, gradasi agregat yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Rencana Gradasi Campuran *SMA* (25 mm)

Ukuran Ayakan		Spesifikasi (%)		Jumlah Persen (%)	
Inchi	(mm)	Min	Maks	Lolos	Tertahan
1	25	100	100	100	0
$\frac{3}{4}$	19	90	100	95	5
$\frac{1}{2}$	12,5	50	88	69	31
$\frac{3}{8}$	9,5	25	60	42,5	57,5
No. 4	4,75	20	28	24	76
No. 8	2,36	16	24	20	80
No. 200	0,075	8	11	9,5	90,5
Pan		0	0	0	100

Pada Tabel 4.1, didapatkan rencana gradasi campuran *SMA* 25 mm. Adapun data yang diperlukan untuk melakukan pengujian yaitu berupa ukuran ayakan, spesifikasi, dan jumlah persen dari campuran yang akan digunakan. Hasil tersebut didapatkan sesuai dengan acuan yang dipakai yaitu Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Berdasarkan tabel di atas maka membentuk sebuah grafik gradasi campuran *SMA* 25 mm yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Grafik Gradasi Campuran SMA 25 mm

Adapun untuk penentuan kadar aspal optimum dapat dihitung melalui persamaan 4.1 berikut.

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%Filler) + K \quad (4.1)$$

Keterangan :

P_b = Kadar aspal,

CA = Persen agregat tertahan saringan No.4

FA = Persen agregat lolos saringan No.4 dan tertahan No.200

Filler = Persen agregat lolos saringan No.200, dan

K = Konstanta 1-2 (konstanta yang digunakan pada penelitian ini yaitu 1)

Berdasarkan perhitungan awal (P_b) yang didapatkan dengan nilai CA 76%, FA 14,5%, Filler 9,5%, maka $P_b = 0,035 (76) + 0,045 (14,5) + 0,18 (9,5) + 1 = 6,02\%$ lalu dibulatkan menjadi 6%. Selanjutnya, untuk mencari nilai dalam kadar aspal optimum (KAO), kadar aspal yang dipakai yaitu 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7% terhadap 1200 gr dari berat total campuran. Adapun serat selulosa yang digunakan mengandung kadar sebesar 0,3% terhadap berat total campuran sebesar 3,6 gr. Selanjutnya, untuk filler menggunakan kadar substitusi dengan variasi 0%, 25%,

50%, 75%, dan 100% dari berat total *filler*. Adapun variasi dari kadar aspal untuk menentukan nilai KAO memiliki kebutuhan agregat yang berbeda pada masing-masing kadarnya, dapat dilihat pada Tabel 4.2, Tabel 4.3, Tabel 4.4, Tabel 4.5, dan Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.2 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (%)	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1	25	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
3/4	19	90,00	100,00	95,00	5,00	57,00	57,00
1/2	12,5	50,00	88,00	69,00	26,00	296,40	353,40
3/8	9,5	25,00	60,00	42,50	26,50	302,10	655,50
#4	4,75	20,00	28,00	24,00	18,50	210,90	866,40
#8	2,36	16,00	24,00	20,00	4,00	45,60	912,00
#200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	119,70	1031,70
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	108,30	1140,00

Tabel 4.3 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5,5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1	25	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
3/4	19	90,00	100,00	95,00	5,00	56,70	56,70
1/2	12,5	50,00	88,00	69,00	26,00	294,84	351,54
3/8	9,5	25,00	60,00	42,50	26,50	300,51	652,05
# 4	4,75	20,00	28,00	24,00	18,50	209,79	861,84
# 8	2,36	16,00	24,00	20,00	4,00	45,36	907,20
# 200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	119,07	1026,27
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	107,73	1134,00

Tabel 4.3 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1	25	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
3/4	19	90,00	100,00	95,00	5,00	56,40	56,40
1/2	12,5	50,00	88,00	69,00	26,00	293,28	349,68
3/8	9,5	25,00	60,00	42,50	26,50	298,92	648,60
# 4	4,75	20,00	28,00	24,00	18,50	208,68	857,28
# 8	2,36	16,00	24,00	20,00	4,00	45,12	902,40
# 200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	118,44	1020,84
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	107,16	1128,00

Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6,5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1	25	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
3/4	19	90,00	100,00	95,00	5,00	56,10	56,10
1/2	12,5	50,00	88,00	69,00	26,00	291,72	347,82
3/8	9,5	25,00	60,00	42,50	26,50	297,33	645,15
# 4	4,75	20,00	28,00	24,00	18,50	207,57	852,72
# 8	2,36	16,00	24,00	20,00	4,00	44,88	897,60
# 200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	117,81	1015,41
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	106,59	1122,00

Tabel 4.5 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 7%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1	25	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
3/4	19	90,00	100,00	95,00	5,00	55,80	55,80
1/2	12,5	50,00	88,00	69,00	26,00	290,16	345,96
3/8	9,5	25,00	60,00	42,50	26,50	295,74	641,70
# 4	4,75	20,00	28,00	24,00	18,50	206,46	848,16
# 8	2,36	16,00	24,00	20,00	4,00	44,64	892,80
# 200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	117,18	1009,98
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	106,02	1116,00

Adapun jumlah dari benda uji yang digunakan untuk mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO), dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.6 Jumlah Benda Uji Dalam Mendapatkan Nilai KAO

Kadar Aspal	Pengujian		
	<i>Marshall</i>	<i>IRS</i>	<i>Draindown</i>
5	3	3	3
5,5	3	3	3
6	3	3	3
6,5	3	3	3
7	3	3	3
Jumlah Benda Uji	15	15	15
Total Keseluruhan	45		

Nilai KAO yang telah didapatkan, selanjutnya dilakukan pengujian pada tiap nilai tersebut. Adapun dalam pengujian KAO terdapat jumlah benda uji yang dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.7 Jumlah Benda Uji Untuk Setiap Pengujian KAO

Pengujian	Kadar <i>Filler FA</i> (%)				
	0	25	50	75	100
<i>Marshall</i>	3	3	3	3	3
<i>IRS</i>	3	3	3	3	3
<i>ITS</i>	3	3	3	3	3
<i>TSR</i>	3	3	3	3	3
<i>CL</i>	3	3	3	3	3
<i>Draindown</i>	3	3	3	3	3
Jumlah Benda Uji	18	18	18	18	18
Total	90				

Berdasarkan Tabel 4.7 dan Tabel 4.8, dapat didapatkan untuk jumlah benda uji dalam penelitian ini yaitu sebanyak 135 buah.

4.4.4 Pembuatan Campuran Benda Uji

Tahap dalam pembuatan campuran benda uji dilaksanakan setelah tahapan perencanaan campuran melalui penyaringan agregat guna menyaring distribusi agregat agar sesuai dengan nomor saringan yang dipakai. Selanjutnya, agregat

tertahan pada tiap nomor saringan ditimbang. Adapun tahapan dalam pembuatan campuran benda uji yaitu sebagai berikut.

1. Mempersiapkan peralatan dan bahan yang akan dipakai.
2. Memanaskan aspal AC 60/70 yang sudah dipanaskan hingga suhu 160°C pada temperatur tertentu.
3. Memanaskan agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan serat selulosa dengan suhu 170°C. Selanjutnya, kadar aspal dicampurkan sesuai pengelompokan yang sudah ditentukan dan diaduk sampai homogen.
4. Membersihkan dan mengolesi cetakan benda uji dengan oli.
5. Meletakkan kertas yang sudah didesain sesuai ukuran cetakan bagian bawah. Selanjutnya, memasukkan campuran benda uji yang sudah dicampur secara merata dengan jumlah 1/3 bagian volume cetkan serta ditusuk-tusuk dengan spatula sebanyak 25 kali. Langkah yang sama dilakukan kembali dan benda uji dimasukkan sampai cetakan penuh lalu kertas diletakkan di bagian atas.
6. Meletakkan cetakan yang sudah terdapat benda uji di atas mesin pemadat lalu atur mesin sebanyak 50 kali tumbukan pada tiap sisi.
7. Mengeluarkan benda uji dari mesin pemadat lalu diamkan supaya tidak terlalu panas.
8. Mengeluarkan benda uji dengan *ejector hydraulic pump* dari cetakan, lalu diamkan dan ambil kertas dari kedua sisi cetakan tersebut.

4.4.5 Pengujian *Marshall*

Pengujian *Marshall* merupakan suatu metode pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan nilai stabilitas, *Flow*, *MQ*, *VITM*, *VMA*, *VFWA*, dan *Density* dari campuran perkerasan. Adapun tahapan dalam pengujian *Marshall* yaitu sebagai berikut.

1. Menyiapkan dan membersihkan peralatan yang akan dipakai.
2. Mengukur tinggi benda uji pada tiga sisi menggunakan kaliper.
3. Menimbang benda uji saat keadaan kering udara.

4. Merendam benda uji selama 20 hingga 24 jam pada suhu ruang untuk memperoleh kejenuhan, lalu menimbang benda uji dalam air dan dicatat hasilnya.
5. Membersihkan benda uji setelah ditimbang dengan kain lap hingga dalam kondisi *SSD*, lalu menimbang benda uji agar mendapatkan berat dalam kondisi *SSD*
6. Memasukkan benda uji ke *waterbath* selama 30 menit dengan suhu 60°C.
7. Mempersiapkan mesin *Marshall* lengkap dengan dial serta menyiapkan *breaking head* dengan kondisi telah diolesi oli.
8. Mengambil benda uji dari *waterbath* dan menempatkannya ke dalam *breaking head*, lalu dial *Flow* dipasang dan *breaking head* dinaikkan hingga cincin penguji menyentuh benda uji.
9. Mengatur jarum pada dial stabilitas dan *Flow* dalam keadaan nol.
10. Menghidupkan mesin dan melakukan pengamatan saat pembebanan hingga dial stabilitas sampai pada angka maksimum.
11. Mencatat hasil dari dial stabilitas dan dial *Flow*.

4.4.6 Pengujian *ITS*

Adapun tahapan dalam pengujian *ITS* yaitu sebagai berikut.

1. Menyiapkan peralatan yang akan dipakai.
2. Membuat benda uji berdasarkan perencanaan yang sudah ditentukan menggunakan nilai KAO yang sudah didapatkan melalui uji *Marshall*.
3. Meletakkan benda uji pada mesin *ITS*.
4. Menyalakan mesin lalu melakukan pembacaan dial dan mencatat hasil yang diperoleh.

4.4.7 Pengujian *TSR*

Adapun tahapan dalam pengujian *TSR* yaitu sebagai berikut.

1. Menyiapkan peralatan yang akan dipakai.
2. Membuat benda uji berdasarkan pean melalui nilai KAO yang sudah didapatkan melalui uji *Marshall*.
3. Meletakkan benda uji dalam *waterbath* untuk direndam dengan suhu 60°C selama 24 jam, lalu mendiamkan benda uji selama 24 jam pada suhu ruang.

4. Meletakkan benda uji pada mesin *TSR*.
5. Menyalakan mesin lalu melakukan pembacaan dial dan mencatat hasil yang diperoleh.

4.4.8 Pengujian *IRS*

Adapun tahapan dalam pengujian *IRS* yaitu sebagai berikut.

1. Membersihkan benda uji supaya tidak ada kotoran yang tersisa dari bekas pembuatan sampel.
2. Mengukur tinggi benda uji pada tiga sisi dengan kaliper, lalu benda uji ditimbang dalam kondisi kering udara.
3. Merendam benda uji untuk memperoleh tingkat kejenuhan selama 20 hingga 24 jam dalam keadaan suhu ruang, lalu menimbang benda uji di dalam air dan mencatat hasil yang didapat.
4. Membersihkan benda uji yang sudah ditimbang menggunakan kain lap hingga dalam kondisi *SSD*, lalu benda uji ditimbang kembali agar mendapatkan beratnya dalam keadaan *SSD*.
5. Memasukkan benda uji dalam *waterbath* selama 24 jam dengan suhu 60°C.
6. Mempersiapkan mesin *Marshall* lengkap dengan dial lalu menyiapkan *breaking head* yang sudah diolesi oli.
7. Mengambil benda uji dari *waterbath* dan memindahkannya ke dalam *breaking head*, lalu memasang dial *Flow* dan *breaking head* dinaikkan hingga benda uji menyentuh cincin penguji.
8. Mengatur jarum pada dial stabilitas dan *Flow* dalam keadaan angka nol.
9. Menghidupkan mesin dan melakukan pengamatan saat pembebanan hingga dial stabilitas mencapai angka maksimum.
10. Mencatat hasil yang diperoleh dari dial stabilitas dan dial *Flow*.

4.4.9 Pengujian *VCA_{DRC}*

Adapun tahapan dalam pengujian *VCA_{DRC}* yaitu sebagai berikut.

1. Menuangkan benda uji campuran fraksi agregat kasar yang sudah dipanaskan ke dalam silinder dengan takaran 1/3 tinggi wadah. Selanjutnya melakukan pemadatan dengan menusuk-nusuk campuran dengan *tamping*

rod sebanyak 25 kali pada seluruh lapis permukaan pertama. Pada saat proses pemadatan, jangan sampai mengenai dasar silinder takaran.

2. Menuangkan benda uji campuran fraksi agregat kasar yang sudah dipanaskan ke dalam silinder dengan takaran $\frac{2}{3}$ tinggi wadah untuk membentuk lapisan kedua. Melakukan pemadatan dengan menusuk-nusuk campuran dengan *tamping rod* sebanyak 25 kali pada seluruh lapis permukaan pertama. Pada saat proses pemadatan, jangan sampai mengenai permukaan lapis pertama.
3. Menuangkan benda uji campuran fraksi agregat kasar yang sudah dipanaskan ke dalam silinder hingga melebihi wadah sedikit untuk membentuk lapisan ketiga. Melakukan pemadatan dengan menusuk-nusuk campuran dengan *tamping rod* sebanyak 25 kali pada seluruh lapis permukaan pertama. Pada saat proses pemadatan, jangan sampai mengenai permukaan lapis kedua.
4. Melakukan perataan pada campuran fraksi agregat kasar yang meluber dari tinggi wadah menggunakan *tamping rod* atau mistar perata hingga bersih sampai tepi permukaan.
5. Menimbang benda uji dan wadah bersamaan dan melakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai VCA_{DRC}

Benda uji pada VCA_{DRC} dibuat sama dengan jumlah benda uji VCA_{MIX}

4.4.10 Pengujian *Draindown*

Adapun tahapan dalam pengujian *draindown* yaitu sebagai berikut.

1. Mempersiapkan 2 oven, oven pertama dinyalakan hingga mencapai suhu sesuai temperatur produksi. Oven kedua dinyalakan hingga mencapai kisaran suhu 15°C lebih tinggi dari temperatur produksi tiap variasi benda uji hasil uji viskositas.
2. Menimbang tiap keranjang kawat dan alas alumunium.
3. Menuang campuran aspal saat keadaan *loose* kedalam keranjang kawat dialasi dengan piring alumunium lalu ditimbang.
4. Mengukur suhu benda uji dengan *thermometer*, lalu memasukkan benda uji tersebut kedalam oven.

5. Menyimpan benda uji selama 60 ± 5 menit dalam oven. Waktu penyimpanan akan ditambah menjadi 70 ± 5 menit, apabila ketika benda uji sudah disimpan dalam oven suhunya menurun kurang dari 25°C .
6. Melakukan penimbangan alas piring alumunium yang menampung lelehan aspal dengan ketelitian 0,1 gr, dilakukan setelah waktu dalam oven telah terpenuhi.

4.4.11 Pengujian *CL*

Adapun tahapan dalam pengujian *CL* yaitu sebagai berikut.

1. Mempersiapkan bahan dan peralatan yang akan digunakan.
2. Menimbang benda uji dengan tujuan untuk memperoleh berat sebelum abrasi (Mo).
3. Meletakkan benda uji kedalam mesin *Los Angeles* tanpa bola baja.
4. Menyalakan mesin dengan kecepatan 30-33 rpm sebanyak 300 putaran.
5. Mengeluarkan benda uji dari mesin ketika sudah selesai pemutaran, lalu benda uji ditimbang untuk memperoleh berat setelah dilakukan pengujian abrasi (Mi).

4.5 Analisis Data

Setelah melakukan beberapa macam pengujian, maka dapat dilanjutkan dengan analisis data untuk memperoleh parameter hasil pengujian secara lengkap. Adapun analisis data yang perlu dilakukan yaitu sebagai berikut.

4.5.1 Analisis Karakteristik *Marshall*

Parameter hasil pengujian *Marshall* didapatkan data sebagai berikut.

1. Berat benda uji kering udara (gram)
2. Berat benda uji dalam air (gram)
3. Berat benda uji *SSD* (gram)
4. Tebal benda uji (mm)
5. Pembacaan dial stabilitas (kg)
6. Pembacaan dial *Flow* (mm)

Karakteristik *Marshall* dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut.

1. Berat jenis aspal

Berat jenis aspal dihitung melalui Persamaan 4.2 berikut.

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

Keterangan :

A = Berat piknometer dengan penutup (gr),

B = Berat piknometer berisi air (gr),

C = Berat piknometer berisi aspal, dan

D = Berat piknometer berisi air dan aspal.

2. Berat jenis agregat

Berat jenis agregat dihitung melalui Persamaan 4.3 berikut.

$$B_j \text{ Aspal} = \frac{(A \times F1) + (B \times F2)}{100} \quad (4.3)$$

Keterangan :

A = Persentase agregat kasar (%)

B = Persentase agregat halus (%)

F1 = Berat jenis agregat kasar, dan

F2 = Berat jenis agregat halus.

3. Nilai stabilitas dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.1

4. Nilai *Flow* didapatkan dari hasil pembacaan dial *Flow*.

5. Nilai *Marshall Quotient* didapatkan dengan menggunakan Persamaan 3.2

6. Nilai *VMA* didapatkan dengan menggunakan Persamaan 3.3 dan 3.4

7. Nilai *Density* didapatkan dengan menggunakan Persamaan 3.5 dan 3.6.

8. Nilai *VFWA* didapatkan dengan menggunakan Persamaan 3.7 dan 3.8.

9. Nilai *VITM* didapatkan dengan menggunakan Persamaan 3.10 dan 3.11.

4.5.2 Analisis Pengujian *ITS*

Nilai pengujian *ITS* bisa didapatkan melalui Persamaan 3.12.

4.5.3 Analisis Pengujian *CL*

Nilai pengujian *CL* bisa didapatkan melalui Persamaan 3.13.

4.5.4 Analisis Pengujian *IRS*

Nilai pengujian *IRS* bisa didapatkan melalui Persamaan 3.14.

4.5.5 Analisis Pengujian *TSR*

Nilai pengujian *TSR* bisa didapatkan melalui Persamaan 3.15.

4.5.6 Analisis Pengujian *VCA*

Nilai pengujian *VCA* bisa didapatkan melalui Persamaan 3.16 dan 3.17.

4.5.7 Analisis Pengujian *Draindown*

Nilai pengujian *Draindown* bisa didapatkan melalui Persamaan 3.18.

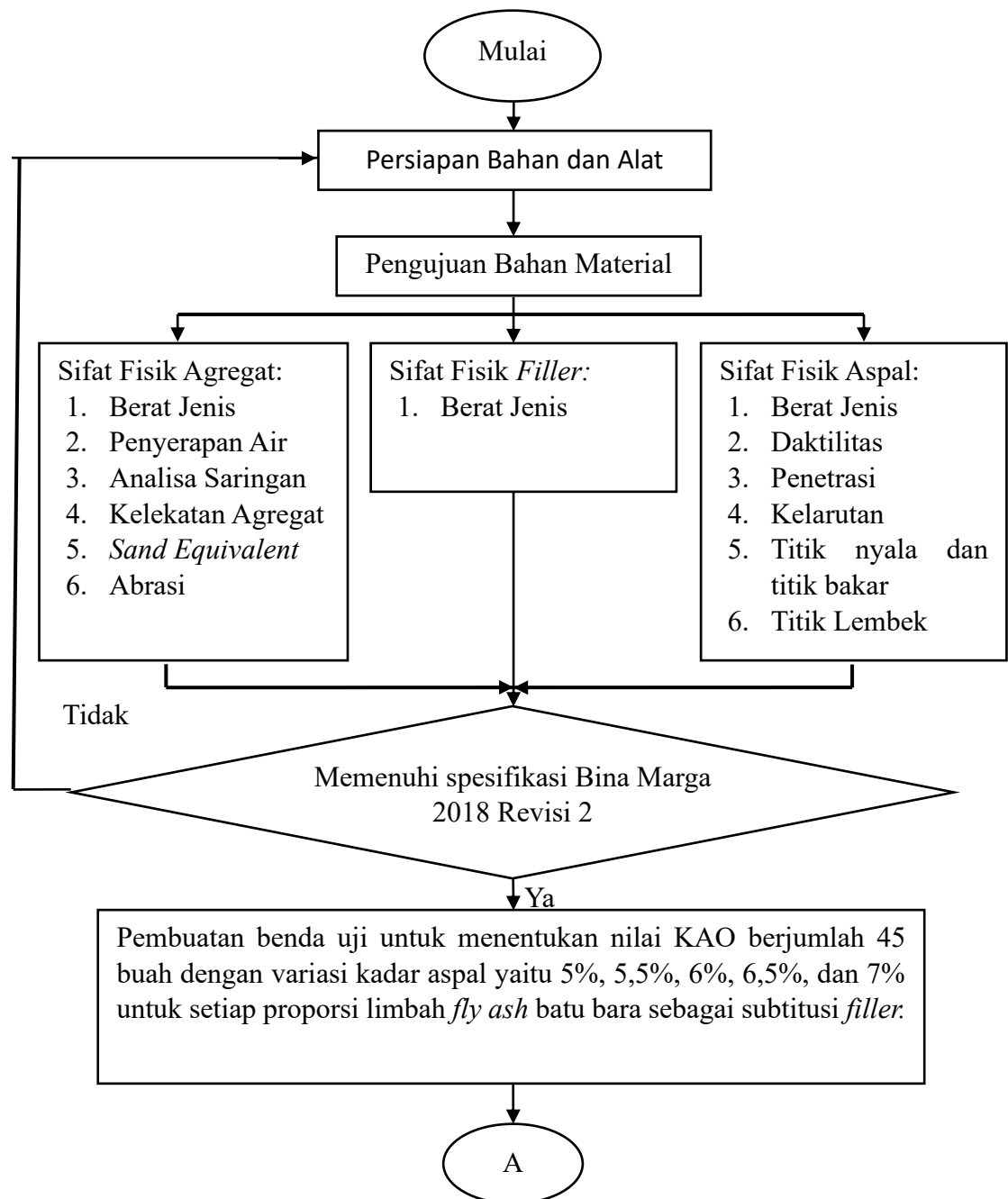
4.6 Uji Statistik *ANOVA*

Tahapan pelaksanaan uji statistic *ANOVA* yaitu sebagai berikut.

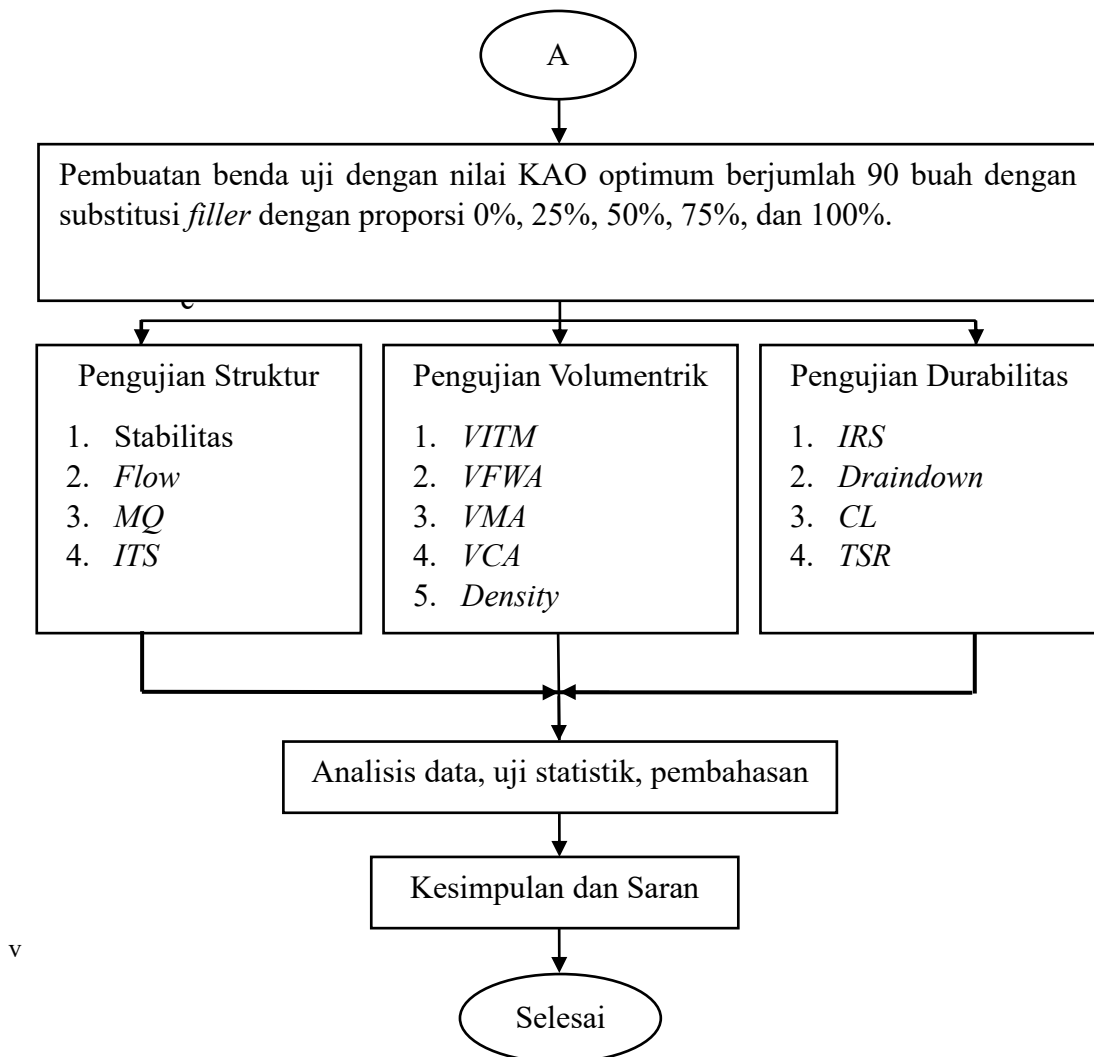
1. Memastikan data harus berdistribusi normal, dikarenakan uji normalitas data merupakan syarat wajib harus terpenuhi. Jika tidak, maka bisa menggunakan alternatif dengan uji *krukal wallis*.
2. Memasukkan data sampel pengujian yang sudah diteliti ke dalam SPSS.
3. Memilih menu *analyze* pada bagian *compare means* untuk menggunakan *One Way ANNOVA*.
4. Memasukkan variable yang sudah diinput di awal pada dependen list serta variable metode pada faktor, lalu klik options.
5. Mengatur menu options, kemudian centang *descriptive* dan *homogen of variance test*, lalu klik lanjutkan dan ok.
6. Apabila uji homogenitas terpenuhi, maka melakukan uji lanjut *Bonferroni*, sedangkan jika tidak terpenuhi maka bisa menggunakan uji lanjut *games-howell*.

4.6 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir pada penelitian ini menunjukkan tahapan atau rangkaian terkait penelitian yang akan dilakukan. Adapun bagan alir penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Bahan Dan Campuran

Berdasarkan rangkaian pengujian yang telah dilakukan, maka didapatkan hasil dari setiap pengujian sebagai berikut.

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian karakteristik aspal dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian tersebut dilakukan menggunakan aspal Pen 60/70 dengan berpedoman pada Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 untuk hasil pengujian. Adapun rekapitulasi hasil pengujian, dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,040	Memenuhi
2	Penetrasi (mm)	60-70	66,60	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	≥ 100	164	Memenuhi
4	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 48	48,5	Memenuhi
5	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	315	Memenuhi
6	Titik Bakar ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	320	Memenuhi
7	Kelarutan pada <i>TCE</i> (%)	≥ 99	99,32	Memenuhi

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian karakteristik agregat dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian tersebut dilakukan menggunakan agregat kasar, halus, dan *filler* dengan berpedoman pada Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Adapun rekapitulasi hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.2 sampai Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,59
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	≤ 2	1,96
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	≥ 95	98
4	Keausan Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i> (%)	≤ 40	19,32 °C

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Agregat Halus Clereng

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,70
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	≤ 2	1,42
3	<i>Sand Equivalent</i> (%)	≥ 95	92,84

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Jenis *Filler*

No	Jenis Pengujian	Hasil
1	Berat Jenis (Debu Batu)	2,56
2	Berat Jenis (Abu <i>FA</i>)	1,78

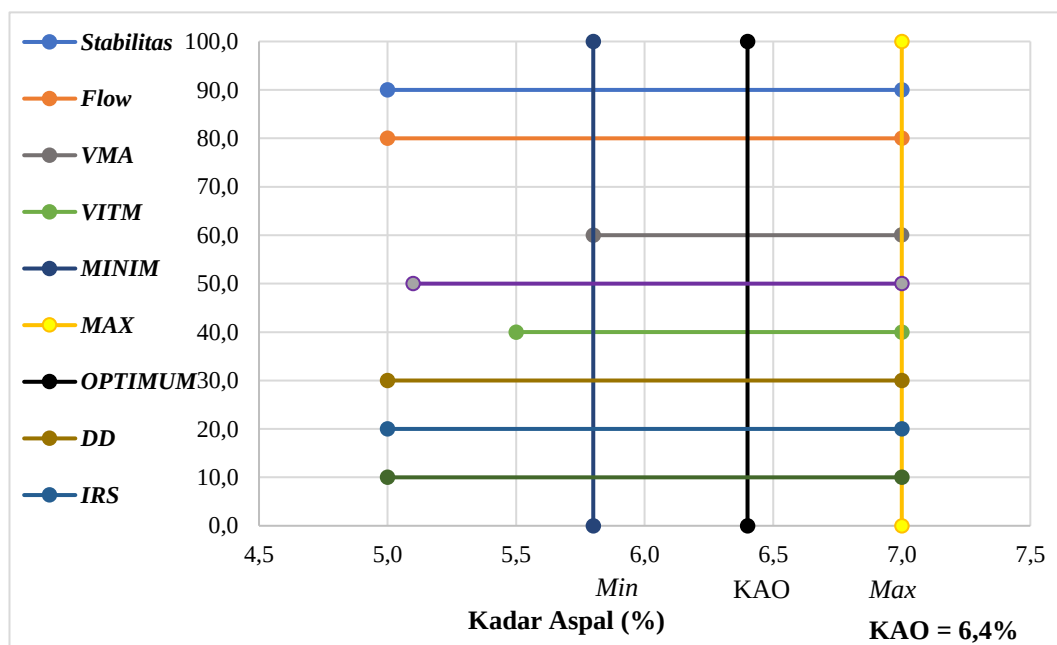
5.1.3 Hasil Pengujian Campuran untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Pengujian ini dilaksanakan untuk memperoleh nilai KAO pada campuran *SMA* 25 mm dengan menggunakan aspal Pen 60/70. Hasil pengujian yang diperoleh adalah nilai stabilitas, *flow*, *MQ*, *VMA*, *VITM*, *IRS*, *Draindown*, dan *VCA*.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70

Pengujian	5	5,5	6	6,5	7	Spesifikasi
Stabilitas (kg)	876,18	891,05	921,52	946,89	893,11	> 600
<i>Flow</i> (mm)	2,60	2,82	3,17	3,32	3,43	2–4,5
<i>VITM</i> (%)	5,49	4,96	4,37	4,16	4,02	3-5
<i>VMA</i> (%)	16,29	16,84	17,32	18,12	18,98	> 17
<i>Draindown</i> (%)	0,07	0,09	0,12	0,16	0,20	< 0,3
<i>IRS</i> (%)	90,22	90,98	91,43	92,53	94,54	> 90
<i>VCA</i>	0,935	0,953	0,950	0,959	0,965	< 1

Berdasarkan pengujian yang telah dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia didapatkan nilai KAO campuran SMA 25 mm melalui perhitungan secara grafis. Adapun nilai KAO dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1 Penentuan KAO dengan Substitusi Filler FA Batu Bara

Berdasarkan Gambar 5.1, maka KAO yang dipakai untuk variasi substitusi *filler* yaitu 6,4%. Pada variasi KAO 6,4% diperoleh berat agregat yang lolos saringan No.200 sehingga diperoleh berat *filler* yang digunakan. Pada penelitian ini, penulis memanfaatkan *filler* debu batu dan *filler* pengganti yaitu FA batu bara. Berat *filler* didapatkan berdasarkan berat volume dari masing-masing *filler*, untuk mendapatkan berat volume perlu mengetahui berat jenis setiap *filler* karena FA sebagai *filler* pengganti yang mempunyai berat jenis berbeda dengan debu batu.

Selanjutnya, apabila pengujian berat jenis telah dilaksanakan, maka diperoleh masing-masing *filler* yaitu debu batu sebesar $2,56 \text{ gr/cm}^3$ dan berat jenis ITSFA sebesar $1,78 \text{ gr/cm}^3$. Pengujian berat jenis dilaksanakan supaya memperoleh berat volume yang sama berdasarkan perbandingan volume. Adapun berat masing-masing *filler* dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Berat Debu Batu dan FA Batu Bara

Kadar Variasi Substitusi <i>Filler</i> (%)	Berat Debu Batu (gr)	Berat Debu <i>FA</i> (gr)
0	106,59	0,00
25	79,94	18,98
50	53,30	37,95
75	26,65	56,93
100	0,00	75,90

Adapun ini merupakan gambar *filler* FA yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.

**Gambar 5.2 *Filler* FA Batu Bara**

5.1.4 Hasil Pengujian Campuran pada Kadar Aspal Optimum

Adapun hasil pengujian Campuran *SMA* 25 mm pada Kadar Aspal Optimum dengan substitusi FA sebagai *filler* pengganti dengan pengujian *Marshall*, *VCA*, *Draindown*, *ITS*, *TSR*, *IRS*, *CL* dapat dilihat pada Tabel 5.7 sampai Tabel 5.13 berikut.

1. *FA* Sebagai Substitusi *Filler* pada Pengujian *Marshall*

Tabel 5.7 Rekapitulasi Pengujian *Marshall* pada KAO Setiap Kadar Substitusi *FA* Batu Bara

Kadar Substitusi <i>Filler</i> (%)	Stabilitas (kg)	<i>Flow</i> (mm)	<i>MQ</i> (kg/mm)	<i>VITM</i> (%)	<i>VFWA</i> (%)	<i>VMA</i> (%)	<i>Density</i> (gr/cc)
0	987,75	3,05	324,33	3,69	78,97	17,52	2,248
25	975,86	3,10	315,39	3,85	78,29	17,66	2,245
50	965,52	3,20	301,89	4,21	76,60	17,97	2,236
75	954,27	3,32	287,73	4,38	75,96	18,11	2,232
100	944,35	3,42	276,52	4,55	75,42	18,26	2,228
Spesifikasi	> 600	2-4,5	>250	3 - 5	>65	> 17	>2

2. *FA* Sebagai Substitusi *Filler* pada Pengujian *VCA*

Tabel 5.8 Rekapitulasi Pengujian Nilai *VCA* pada KAO Setiap Kadar Substitusi *FA* Batu Bara

Kadar Substitusi <i>FA</i> (%)	VCA_{MIX}/VCA_{DRC}
0	0,821
25	0,849
50	0,868
75	0,882
100	0,893
Spesifikasi	<1

3. *FA* Sebagai Substitusi *Filler* pada Pengujian *Draindown*

Tabel 5.9 Rekapitulasi Pengujian *Draindown* pada KAO Setiap Kadar Substitusi *FA*

Kadar Substitusi <i>FA</i> (%)	<i>Draindown</i> (%)
0	0,16
25	0,14
50	0,13
75	0,12
100	0,10
Spesifikasi	<0,3

4. *FA* Sebagai Substitusi *Filler* pada Pengujian *IRS*

Tabel 5.10 Rekapitulasi Pengujian *IRS* pada KAO Setiap Kadar Substitusi *FA*

Kadar Substitusi <i>FA</i> (%)	<i>IRS</i> (%)
0	97,84
25	96,98
50	96,29
75	95,20
100	94,14
Spesifikasi	>90

5. *FA* Sebagai Substitusi *Filler* pada Pengujian *ITS*

Tabel 5.11 Rekapitulasi Pengujian *ITS* pada KAO Setiap Kadar Substitusi *FA*

Kadar Substitusi <i>FA</i> (%)	<i>ITS</i> (%)
0	898,462
25	836,370
50	804,385
75	778,163
100	726,521

6. *FA* Sebagai Substitusi *Filler* pada Pengujian *TSR*

Tabel 5.12 Rekapitulasi Pengujian *TSR* pada KAO Setiap Kadar Substitusi *FA*

Kadar Substitusi <i>FA</i> (%)	<i>TSR</i> (%)
0	92,171
25	89,040
50	88,274
75	86,988
100	86,429

7. *FA* Sebagai Substitusi *Filler* pada Pengujian *CL*

Tabel 5.13 Rekapitulasi Pengujian *CL* pada KAO Setiap Kadar Substitusi *FA*

Kadar Substitusi <i>FA</i> (%)	Kehilangan Berat (%)
0	5,91
25	8,27
50	9,34
75	10,13
100	11,15

Berdasarkan pengujian, didapatkan nilai dari *marshall*, *VCA*, *draindown*, *ITS*, *IRS*, *TSR*, dan, *CL*. Hasil tersebut kemudian dapat dianalisis melalui metode statistik *ANOVA* satu arah. Adapun data analisis dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Pengaruh *Filler FA* Terhadap Karakteristik *Marshall* Berdasarkan Metode Statistik *ANOVA*

Parameter	Nilai Signifikan	Keterangan	Hasil Analisis
Stabilitas	0,561	H0 diterima	Tidak signifikan
<i>Flow</i>	0,075	H0 diterima	Tidak signifikan
VITM	0,749	H0 diterima	Tidak signifikan
<i>VFWA</i>	0,784	H0 diterima	Tidak signifikan
<i>VMA</i>	0,749	H0 diterima	Tidak signifikan
<i>Density</i>	0,749	H0 diterima	Tidak signifikan
<i>MQ</i>	0,005	H1 diterima	Signifikan

Tabel 5.15 Rekapitulasi Pengaruh *Filler FA* Terhadap *TSR*, *ITS*, *IRS*, *CL*, dan *Draindown* Berdasarkan Metode Statistik *ANOVA*

Parameter	Nilai Signifikan	Keterangan	Hasil Analisis
<i>TSR</i>	0,823	H0 diterima	Tidak signifikan
<i>ITS</i>	0,006	H1 diterima	Signifikan
<i>IRS</i>	0,913	H0 diterima	Tidak signifikan
<i>Cantabro Loss</i>	0,675	H0 diterima	Tidak signifikan
<i>Draindown</i>	0,967	H0 diterima	Tidak signifikan

Keterangan:

H0 Diterima : Tidak terdapat pengaruh signifikan pada penggunaan *FA* sebagai *filler* pengganti pada campuran *SMA*.

H1 Diterima : Terdapat pengaruh signifikan pada penggunaan *FA* sebagai *filler* pengganti pada campuran *SMA*.

5.2 Pembahasan

Adapun pembahasan terkait hasil pengujian yang telah dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia berikut.

5.2.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Penelitian menggunakan aspal dengan tipe aspal Pertamina Pen. 60/70. Pengujian ini mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Adapun hasil pengujian karakteristik aspal dapat dilihat pada Tabel 5.1.

1. Berat Jenis Aspal

Hasil pengujian berat jenis diperoleh melalui perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan volume yang sama dengan suhu tertentu. Berat jenis aspal yang diperoleh pada pengujian ini yaitu sebesar 1,040. Nilai berat jenis tersebut sudah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu $> 1,00$.

2. Penetrasi Aspal

Pengujian penetrasi aspal adalah salah satu metode laboratorium yang digunakan untuk menentukan kekerasan atau mutu dari aspal. Nilai penetrasi dengan aspal Pen. 60/70 yang diperoleh yaitu 66,30 mm. Nilai tersebut telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu 60 mm hingga 70 mm.

3. Daktilitas Aspal

Pengujian daktilitas dilakukan untuk mengukur elastisitas dan sifat kohesi aspal. Hasil pengujian menunjukkan nilai daktilitas sebesar 164 cm, yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu ≥ 100 cm.

4. Titik Nyala dan Titik Bakar

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan suhu saat aspal mulai menyala dan memunculkan percikan api. Hasil pengujian menunjukkan titik nyala aspal sebesar 315°C , yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu $\geq 232^{\circ}\text{C}$.

Nilai titik bakar aspal merupakan batas suhu dimana aspal mulai menghasilkan api yang terlihat menyala selama ± 5 detik pada permukaannya. Hasil pengujian menunjukkan titik bakar sebesar 3200°C , yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu $\geq 232^{\circ}\text{C}$.

5. Titik Lembek Aspal

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan sensitivitas aspal terhadap suhu. Dari pengujian tersebut, diperoleh nilai sebesar 48,5°C, yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu $\geq 48^\circ\text{C}$.

6. Kelarutan pada *Trychloroethylene* (TCE)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan mineral lain dalam aspal, yang dapat mengganggu ikatan aspal dengan agregat. Semakin tinggi persentase kelarutan, semakin sedikit kandungan mineral lain dalam aspal. Pada pengujian ini, diperoleh hasil sebesar 99,32%, yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu $\geq 99\%$.

5.2.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan sifat fisik dan karakteristik agregat kasar. Agregat yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Clereng, Kulon Progo. Adapun karakteristik agregat kasar sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat Kasar

Berat jenis agregat kasar adalah perbandingan antara massa agregat kasar dengan volume air yang ditempati oleh agregat tersebut, termasuk pori-pori di dalamnya. Nilai berat jenis ini penting untuk menentukan kualitas dan kekuatan agregat yang digunakan dalam campuran beton atau aspal. Pada pengujian ini, diperoleh hasil sebesar 2,59, yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu $\geq 2,5$.

2. Penyerapan Air

Pengujian penyerapan air oleh agregat bertujuan untuk mengetahui sejauh mana agregat mampu menyerap air yang masuk melalui pori-pori atau rongga-rongga dalam agregat, mulai dari kondisi kering hingga mencapai kondisi jenuh. Agregat dengan pori-pori besar akan menyerap lebih banyak air dan membutuhkan lebih banyak aspal untuk mengisi pori-pori tersebut, demikian pula sebaliknya. Hasil pengujian menunjukkan penyerapan sebesar 1,96%, yang memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu $\leq 2\%$.

3. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Pengujian kelekatan agregat terhadap aspal bertujuan untuk mengukur persentase luas aspal yang menyelimuti permukaan agregat. Hasil pengujian pada agregat kasar menunjukkan kelekatan sebesar 98%, yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu minimal 95%.

4. Keausan Agregat Kasar dengan Alat *Los Angeles*

Pengujian keausan menggunakan mesin *Los Angeles* bertujuan untuk mengukur ketahanan agregat kasar terhadap degradasi atau penghancuran. Hasil pengujian menunjukkan nilai keausan sebesar 19,32%, yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu $\leq 40\%$.

5.2.3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Pengujian karakteristik agregat halus bertujuan untuk mendapatkan sifat fisik dan karakteristik agregat halus. Agregat yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Clereng, Kulon Progo, Adapun karakteristik dari agregat halus sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat Halus

Berat jenis adalah perbandingan antara massa per satuan volume suatu bahan dengan massa air pada volume yang sama pada suhu tertentu. Hasil pengujian ini menunjukkan nilai sebesar 2,70, yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu $\geq 2,5$.

2. Penyerapan Air

Penyerapan air oleh agregat merupakan kemampuan suatu bahan untuk menyerap air melalui rongga atau pori-pori dalam agregat. Agregat dengan pori-pori yang lebih besar akan memerlukan lebih banyak aspal karena tingkat penyerapannya lebih tinggi. Hasil pengujian ini menunjukkan nilai sebesar 1,42%, yang memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu $\leq 2\%$.

3. *Sand Equivalent*

Pengujian *SE* bertujuan untuk menilai tingkat kebersihan agregat dari debu, lumpur, atau kotoran lainnya. Hasil pengujian ini pada agregat halus menunjukkan nilai 92,84%, yang memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu $\geq 50\%$. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa nilai tersebut memiliki tingkat kebersihan

yang baik dan bebas dari kontaminasi debu, lumpur, atau kotoran lain yang dapat mengganggu kelekatan aspal pada agregat.

5.2.4 Hasil Pengujian Karakteristik *Filler*

Pengujian karakteristik *filler* dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakteristik *filler* tersebut. Adapun pembahasan mengenai pengujian *filler* yaitu sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Jenis Debu Batu

Berat jenis merupakan rasio antara berat satuan volume suatu material dengan berat air pada volume yang sama pada suhu tertentu. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa berat jenis *filler* debu batu sebesar 2,56.

2. Pengujian Berat Jenis *FA*

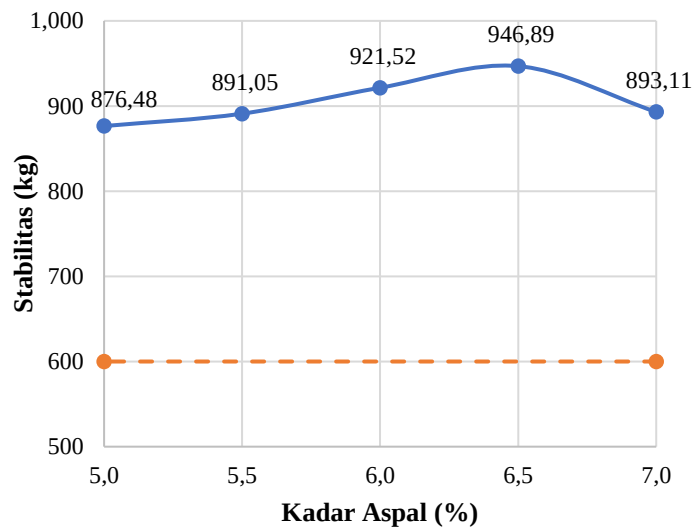
Berat jenis merupakan rasio antara berat satuan volume suatu material dengan berat air pada volume yang sama pada suhu tertentu. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa berat jenis *filler FA* sebesar 1,78.

Pada saat menentukan berat volume, perlu diketahui berat jenis pada setiap *filler* untuk mengetahui perbandingan volume antar *filler*, sehingga dapat mencakup volume yang sama. Hal ini disebabkan karena berat jenis *FA* sebagai *filler* pengganti lebih rendah dibandingkan dengan berat jenis *filler* debu batu.

5.2.5 Pengaruh Kadar Aspal Dalam Menentukan KAO Terhadap Campuran

1. Analisis Pengaruh Stabilitas Dalam Menentukan Kadar Aspal Optimum

Stabilitas mengacu pada kemampuan campuran beton aspal dalam menahan beban hingga campuran mengalami deformasi plastis. Adapun grafik yang menunjukkan nilai stabilitas seiring dengan peningkatan kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut.

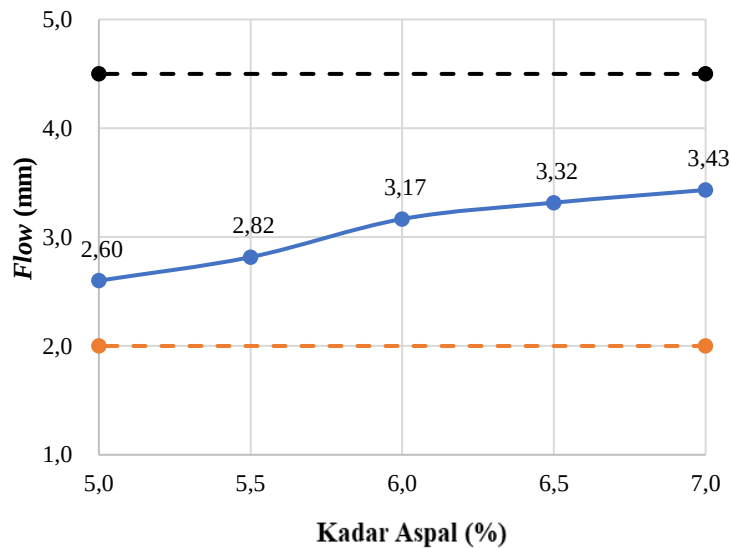


Gambar 5.3 Grafik Stabilitas Dalam Pengaruh Kadar Aspal

Berdasarkan gambar grafik di atas, terdapat titik optimum pada kadar aspal 6,5% kemudian setelah melewati titik optimum mengalami penurunan. Pada kadar aspal 5,0% hingga 6,5%, penambahan kadar aspal meningkatkan stabilitas campuran. Hal ini bisa disebabkan oleh distribusi aspal yang lebih merata pada agregat, meningkatkan kekompakan dan daya tahan terhadap beban. Ketika kadar aspal meningkat di atas 6,5%, stabilitas menurun. Hal ini dapat terjadi karena kelebihan aspal dapat menyebabkan campuran menjadi terlalu lunak sehingga mengurangi kekuatannya. Oleh karena itu, peningkatan kadar aspal berpotensi membuat lapisan aspal menjadi lebih tebal. Akibatnya, gesekan antar butiran agregat berkurang, dan aspal yang seharusnya berfungsi sebagai pengikat berubah menjadi pelicin di antara agregat. Berdasarkan hasil yang didapatkan, nilai tersebut sudah memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2.

2. Analisis Pengaruh *Flow* Dalam Menentukan Kadar Aspal Optimum

Flow adalah proses perubahan bentuk yang dialami oleh suatu campuran ketika dikenakan tegangan yang melebihi batas elastisnya. Pada tahap ini, campuran tidak akan kembali ke bentuk semula setelah tegangan dilepaskan. Adapun grafik nilai *flow* dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.

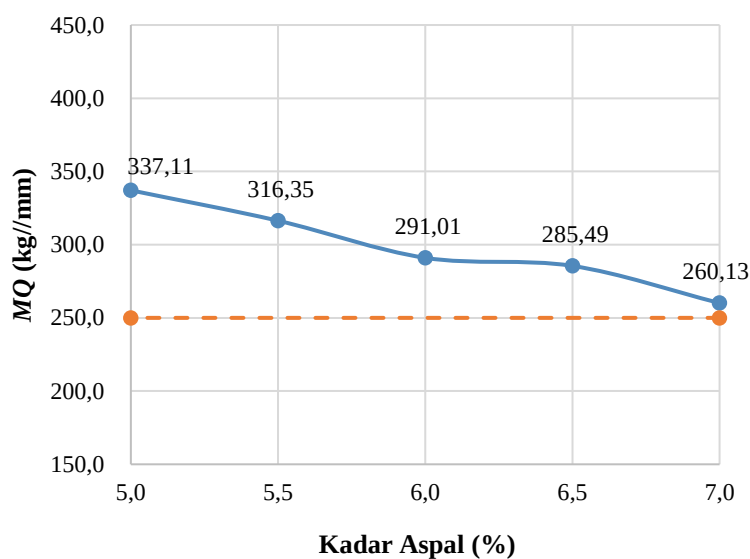


Gambar 5.4 Grafik *Flow* Dalam Pengaruh Kadar Aspal

Berdasarkan gambar diatas, terjadi kenaikan pada nilai *flow* saat kadar aspal ditambah. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan peningkatan karena kadar aspal yang lebih tinggi dalam campuran menghasilkan campuran yang lebih plastis atau mudah terdeformasi. Ketika kandungan aspal meningkat, viskositas campuran berkurang, sehingga memungkinkan deformasi yang lebih besar di bawah beban. Hal ini menyebabkan peningkatan nilai *flow* yang diukur. Nilai *flow* yang didapatkan sudah memenuhi dengan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2.

3. Analisis Pengaruh *MQ* Dalam Menentukan Kadar Aspal Optimum

MQ merupakan nilai pendekatan yang hampir mencerminkan kekakuan campuran beraspal dalam menahan beban. Nilai *MQ* didapatkan dari rasio antara nilai stabilitas yang telah dikoreksi dengan nilai kelelahan, dan dinyatakan dalam satuan kg/mm atau kn/mm. Adapun grafik nilai *MQ* dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.

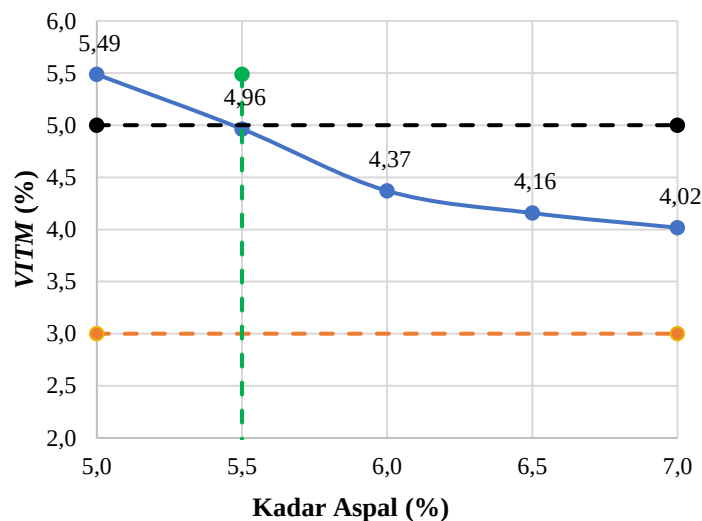


Gambar 5.5 Grafik MQ Dalam Pengaruh Kadar Aspal

Berdasarkan gambar diatas, terjadi penurunan pada nilai MQ saat kadar aspal ditambah. Nilai MQ diperoleh dari perbandingan antara stabilitas dan kelelehan. Seiring dengan meningkatnya kadar aspal, campuran cenderung menjadi lebih fleksibel, yang berarti resistensi terhadap deformasi berkurang. Ini karena penambahan aspal yang berlebihan dapat membuat campuran lebih lunak. Seiring peningkatan kadar aspal yang semakin banyak, campuran berpotensi mengandung terlalu banyak aspal, yang dapat menyebabkan kelebihan pelumas pada agregat, sehingga meningkatkan kelelehan dan mengakibatkan nilai MQ menurun. Meskipun terjadi penurunan, Nilai MQ yang didapatkan sudah memenuhi dengan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2.

4. Analisis Pengaruh $VITM$ Dalam Menentukan Kadar Aspal Optimum

$VITM$ merupakan persentase volume rongga yang terdapat di antara butiran agregat yang terselimuti aspal atau volume rongga dalam campuran beton aspal yang telah dipadatkan. Adapun grafik nilai $VITM$ dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.

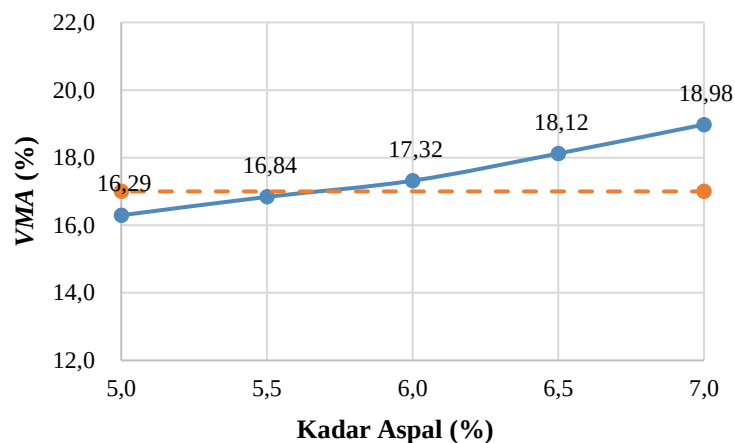


Gambar 5.6 Grafik *VITM* Dalam Pengaruh Kadar Aspal

Berdasarkan gambar diatas, ketika terjadi penambahan kadar aspal, nilai *VITM* mengalami penurunan. Hasil tersebut menunjukkan penurunan nilai *VITM* karena semakin tinggi kadar aspal yang digunakan dalam campuran, semakin kecil jumlah rongga udara yang tersisa. Ini karena kadar aspal yang lebih tinggi akan mengisi lebih banyak rongga antara agregat. Ketika kadar aspal ditingkatkan, lebih banyak aspal yang melapisi agregat, sehingga campuran menjadi lebih padat. Hal ini mengurangi jumlah rongga udara dalam campuran karena aspal mengisi celah antara agregat. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan kadar aspal 5% tidak memenuhi spesifikasi *VITM* pada Bina Marga 2018 Revisi 2. yaitu 3%-5%, sedangkan untuk kadar aspal yang lainnya memenuhi.

5. Analisis Pengaruh *VMA* Dalam Menentukan Kadar Aspal Optimum

VMA merupakan volume rongga yang terdapat di antara butiran agregat dalam beton aspal padat, yang dinyatakan sebagai persentase terhadap total volume bulk. *VMA* berfungsi untuk menyediakan ruang yang diperlukan bagi aspal dan rongga udara dalam campuran. Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, campuran *SMA* harus memiliki *VMA* lebih dari 17%. Adapun grafik *VMA* dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.



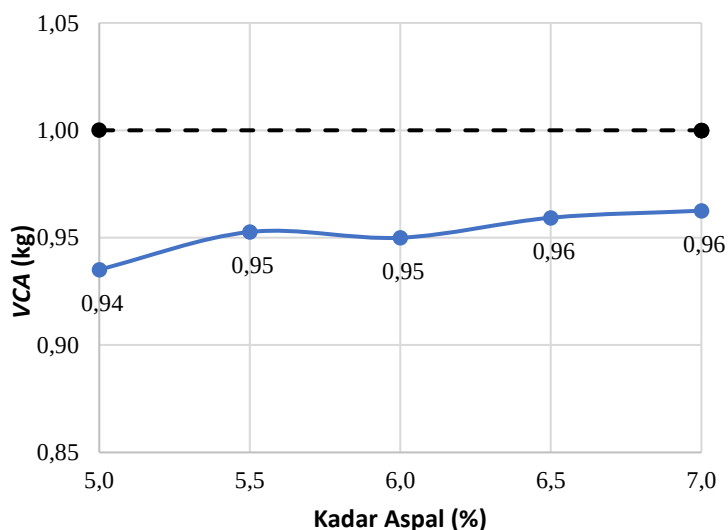
Gambar 5.7 Grafik *VMA* Dalam Pengaruh Kadar Aspal

Berdasarkan gambar diatas, ketika terjadi penambahan kadar aspal maka nilai *VMA* juga mengalami kenaikan. Hal itu menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar aspal yang ditambahkan, semakin besar pula volume rongga di antara agregat yang terisi oleh aspal. *VMA* adalah ukuran dari volume rongga total (termasuk rongga udara dan volume aspal yang mengisi rongga). Peningkatan tersebut biasanya dianggap positif dalam pencampuran aspal karena memastikan agregat terikat erat dengan pengikat aspal, yang dapat meningkatkan daya tahan campuran terhadap deformasi dan beban lalu lintas. Nilai *VMA* yang lebih tinggi menunjukkan bahwa campuran aspal memiliki kapasitas yang lebih besar untuk menampung aspal, yang baik untuk memastikan ketahanan dan durabilitas campuran aspal di jalan. Jika *VMA* terlalu rendah, campuran aspal mungkin tidak memiliki cukup ruang untuk aspal dan bisa berisiko menjadi rapuh atau retak. Sebaliknya, jika *VMA* terlalu tinggi, campuran bisa terlalu longgar dan kurang stabil. Berdasarkan nilai tersebut, pada kadar aspal 5% dan 5,5% tidak memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu $>17\%$, sedangkan untuk kadar aspal lainnya memenuhi.

6. Analisis Pengaruh *VCA* Dalam Menentukan Kadar Aspal Optimum

VCA pada *SMA* merujuk pada kondisi kontak antar butir agregat kasar (*stone-on-stone contact*), yang mencakup volume rongga di antara partikel agregat kasar, termasuk *filler*, agregat halus, udara, aspal, dan serat selulosa. Campuran ini harus

memenuhi spesifikasi nilai VCA yang ditetapkan, yaitu $VCA_{MIX} < VCA_{DRC}$, atau rasio $VCA_{MIX}/VCA_{DRC} < 1$. Adapun grafik nilai VCA dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.

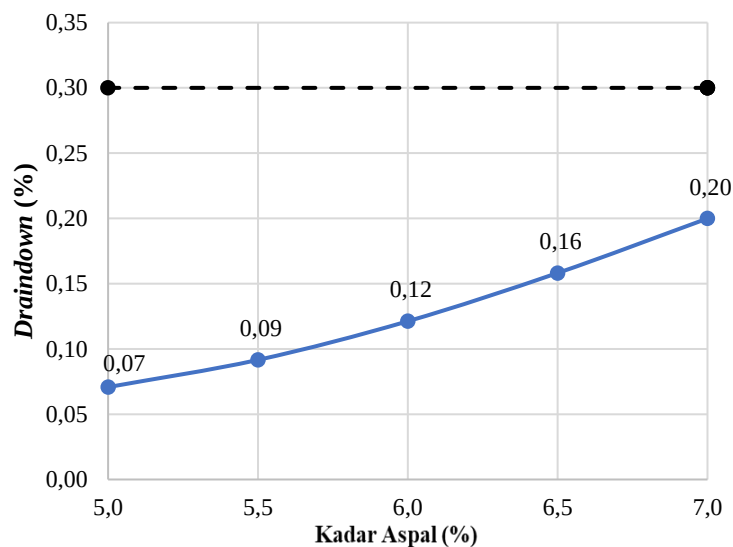


Gambar 5.8 Grafik VCA Dalam Pengaruh Kadar Aspal

Berdasarkan gambar di atas, ketika terjadi penambahan kadar aspal maka nilai VCA juga mengalami kenaikan. Peningkatan kadar aspal dalam campuran serta semakin tebalnya lapisan aspal yang melapisi agregat menyebabkan jarak antar agregat menjadi lebih besar, yang pada akhirnya mengurangi kontak antar batu pada campuran *SMA*. Penambahan aspal dapat mengisi beberapa rongga yang ada dalam campuran agregat kasar, tetapi pada saat yang sama juga memungkinkan agregat kasar tersebut terpisah lebih banyak. Ini menciptakan ruang yang lebih besar di antara agregat kasar, yang sedikit meningkatkan nilai VCA . Berdasarkan hasil tersebut, nilai VCA yang didapatkan sudah memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu <1 .

7. Analisis Pengaruh *Draindown* Dalam Menentukan Kadar Aspal Optimum

Pengujian *draindown* pada campuran *SMA* dilakukan karena kandungan aspal yang tinggi, dimana dapat menyebabkan aliran aspal, sehingga berpotensi mempengaruhi kualitas campuran. Adapun grafik nilai *draindown* dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut.

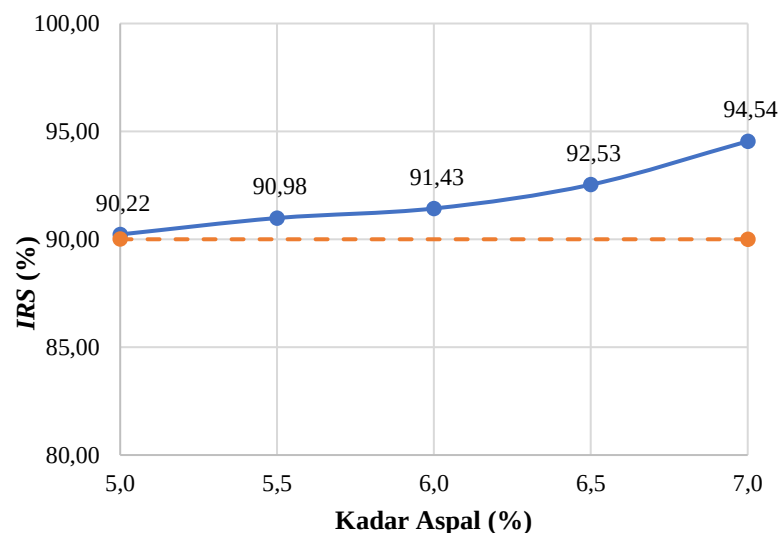


Gambar 5.9 Grafik *Draindown* Dalam Pengaruh Kadar Aspal

Berdasarkan grafik diatas, ketika terjadi penambahan kadar aspal maka nilai *draindown* juga mengalami kenaikan. Peningkatan nilai tersebut terjadi karena adanya peningkatan kadar aspal dalam campuran, sehingga aspal aliran aspal semakin banyak. Ketika kadar aspal ditingkatkan, melebihi kemampuan agregat untuk menyerap dan menahan aspal, aspal berlebih tidak dapat terikat dengan baik pada agregat. Ini menyebabkan aspal mulai mengalir keluar dari campuran, sehingga nilai *draindown* meningkat secara signifikan pada kadar aspal yang lebih tinggi. Selama proses penyimpanan atau pengangkutan campuran aspal, terutama dalam kondisi panas, aspal yang berlebih memiliki kecenderungan untuk melunak dan mengalir keluar dari campuran, yang berkontribusi pada peningkatan *draindown*. Namun, nilai *draindown* tetap memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 karena untuk campuran *SMA* harus $< 0,3\%$.

8. Analisis Pengaruh *IRS* Dalam Menentukan Kadar Aspal Optimum

Nilai *IRS* didapatkan dari perbandingan antara stabilitas campuran setelah direndam selama 24 jam dalam waterbath bersuhu 60°C dengan nilai stabilitas selama 0,5 jam dalam proses perendaman. Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, disyaratkan bahwa campuran *SMA* harus $> 90\%$. Adapun grafik *IRS* dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.



Gambar 5.10 Grafik IRS Dalam Pengaruh Kadar Aspal

Berdasarkan grafik diatas, ketika terjadi penambahan kadar aspal maka nilai *IRS* juga mengalami kenaikan. Ketika kadar aspal meningkat, lebih banyak aspal yang berfungsi sebagai lapisan pelindung pada agregat, melindungi agregat dari kelembapan. Ini mengurangi potensi air untuk menembus dan melemahkan ikatan antar agregat, sehingga campuran dapat mempertahankan kekuatannya lebih baik, yang tercermin dari peningkatan nilai *IRS*. Pada kadar aspal yang lebih tinggi, ikatan antara partikel agregat lebih kuat karena adanya lebih banyak aspal. Hal ini membantu menjaga kekuatan campuran meskipun terkena kondisi lingkungan yang lembap atau basah. Oleh karena itu, peningkatan kadar aspal memungkinkan campuran mempertahankan kekuatannya dengan lebih efektif, meningkatkan *IRS*. Peningkatan tersebut terjadi juga karena campuran mengalami penurunan nilai *VITM* dan peningkatan nilai *VMA*, sehingga campuran yang terbentuk mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air, dan perubahan suhu. Berdasarkan nilai *IRS* yang didapatkan telah memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 karena untuk campuran *SMA* harus $>90\%$.

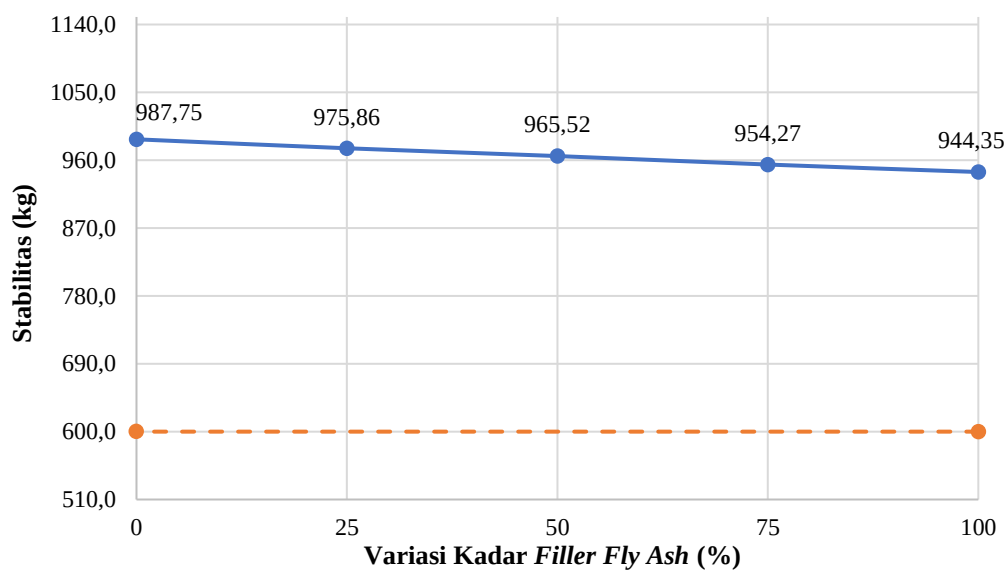
5.2.6 Karakteristik *Marshall* dengan *Filler FA* Pada Nilai KAO

Berdasarkan hasil Uji *Marshall* pada campuran *SMA* 25 mm dengan substitusi *filler FA*, hasil uji berat jenis menunjukkan bahwa berat jenis *FA* lebih rendah

dibandingkan dengan debu batu. Kondisi ini mempengaruhi sifat campuran aspal. Adapun hasil uji pemanfaatan *FA* sebagai pengganti *filler* terhadap nilai KAO sebesar 6,4% sebagai berikut.

1. Analisis Pemanfaatan Substitusi *Filler FA* Terhadap Nilai Stabilitas

Adapun pengaruh *filler FA* pada nilai Stabilitas dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut,



Gambar 5.11 Grafik Stabilitas Dalam Pengaruh Substitusi *Filler FA*

Pada grafik diatas, ketika substitusi kadar *filler FA* semakin besar maka nilai *density* juga mengalami penurunan. Metode analisis statistik *ANOVA*, menunjukkan bahwa penggunaan *filler FA* pada stabilitas sebesar 0,561 pada tingkat signifikansi 0,05. Nilai signifikansi didapatkan $0,056 > 0,05$ sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa *filler FA* tidak berpengaruh terhadap stabilitas. Hal ini mengindikasikan campuran *SMA* 25,5 mm dengan penggunaan *filler FA* tidak mempengaruhi nilai stabilitas campuran. Pada kadar *filler FA* 0% merupakan nilai stabilitas tertinggi pada grafik, yang menandakan bahwa campuran tanpa *FA* memiliki tingkat stabilitas yang lebih baik. Berdasarkan grafik, terlihat bahwa semakin tinggi kadar *FA* yang ditambahkan ke dalam campuran, semakin rendah nilai stabilitas yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan *FA* secara bertahap menyebabkan penurunan stabilitas campuran aspal. *FA* memiliki ukuran partikel

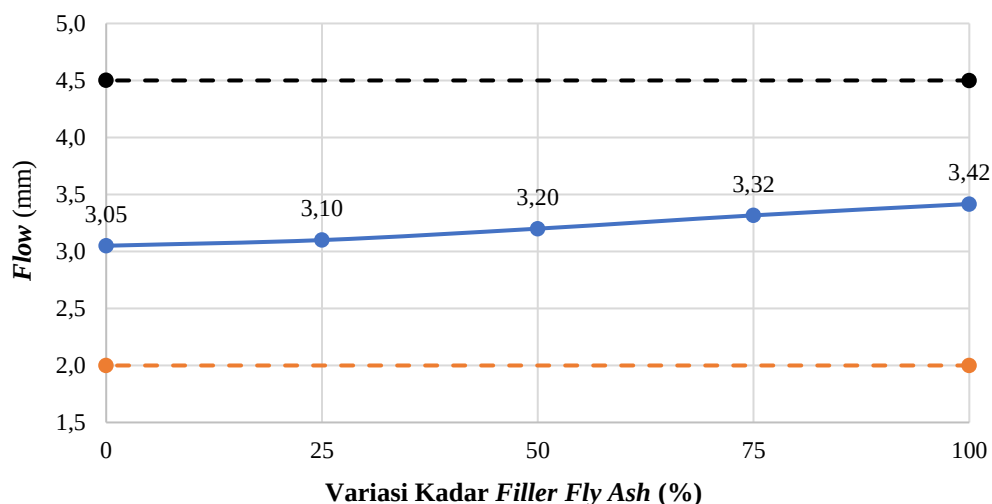
yang lebih halus dan massa jenis yang lebih rendah. Partikel-partikel halus ini cenderung tidak saling terkunci dengan baik di antara agregat, sehingga mengurangi ikatan antar material dan mengakibatkan berkurangnya kekuatan struktural campuran. seiring dengan penambahan *FA*, campuran aspal cenderung menjadi kurang padat karena *FA* memiliki kemampuan yang lebih rendah untuk mengisi rongga di antara agregat secara efektif. Hal ini mengakibatkan adanya rongga udara yang lebih besar di dalam campuran, yang mengurangi kepadatan. *FA* cenderung tidak mempunyai daya tahan dan kekuatan sehingga menyebabkan campuran aspal tidak dapat dipadatkan secara optimal, yang pada gilirannya menurunkan stabilitas.

Hafidzurrahkhan dan Chasanah (2024), pernah melakukan penelitian dengan hasil nilai stabilitas mengalami penurunan pada penggunaan *FA* sebagai *filler*. Semakin tinggi nilai stabilitas yang dimiliki oleh campuran, semakin besar kemampuan campuran tersebut untuk menahan deformasi, begitu juga sebaliknya. Penggunaan *FA* sebagai *filler* membuat campuran menjadi lebih padat dan kaku, sehingga rentan terhadap terjadinya retak. Hasil ini juga sejalan dengan penelitian Wenur dkk. (2023), dimana penurunan nilai stabilitas terjadi karena *filler* tidak mampu mengisi rongga yang ada dengan baik karena tidak tercampur merata sehingga nilai stabilitas menjadi turun.

Menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, persyaratan nilai stabilitas yaitu > 600 untuk campuran *SMA*. Sehingga hasil penelitian tersebut memenuhi syarat yang ditetapkan.

2. Analisis Pemanfaatan Substitusi *Filler FA* Terhadap Nilai *Flow*

Adapun pengaruh *filler FA* pada nilai *Flow* dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut,



Gambar 5.12 Grafik *Flow* Dalam Pengaruh Substitusi *Filler FA*

Pada grafik diatas, ketika substitusi kadar *filler FA* semakin besar maka nilai *flow* juga mengalami kenaikan. Peningkatan nilai tersebut menunjukkan campuran lebih mudah mengalami deformasi, yang bisa menjadi indikasi bahwa campuran menjadi lebih plastis atau lebih fleksibel seiring dengan peningkatan *FA*. Metode analisis statistik *ANOVA*, menunjukkan bahwa penggunaan *filler FA* pada *flow* sebesar 0,075 pada tingkat signifikansi 0,05. Nilai signifikansi didapatkan $0,075 > 0,05$ sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa *filler FA* tidak berpengaruh terhadap *flow*. Hal ini mengindikasikan campuran *SMA* 25,5 mm dengan penggunaan *filler FA* tidak mempengaruhi nilai *flow* campuran. Penurunan stabilitas juga menandakan bahwa meskipun campuran menjadi lebih plastis, kekuatannya untuk menahan beban besar menurun. Ini berarti campuran lebih mudah mengalami deformasi, tetapi dengan risiko kegagalan atau kerusakan yang lebih cepat. Secara keseluruhan, penambahan kadar *FA* meningkatkan nilai *flow* campuran, namun bersamaan dengan itu, stabilitas menurun, sehingga campuran menjadi lebih mudah mengalami deformasi dan kurang mampu menahan beban yang berat.

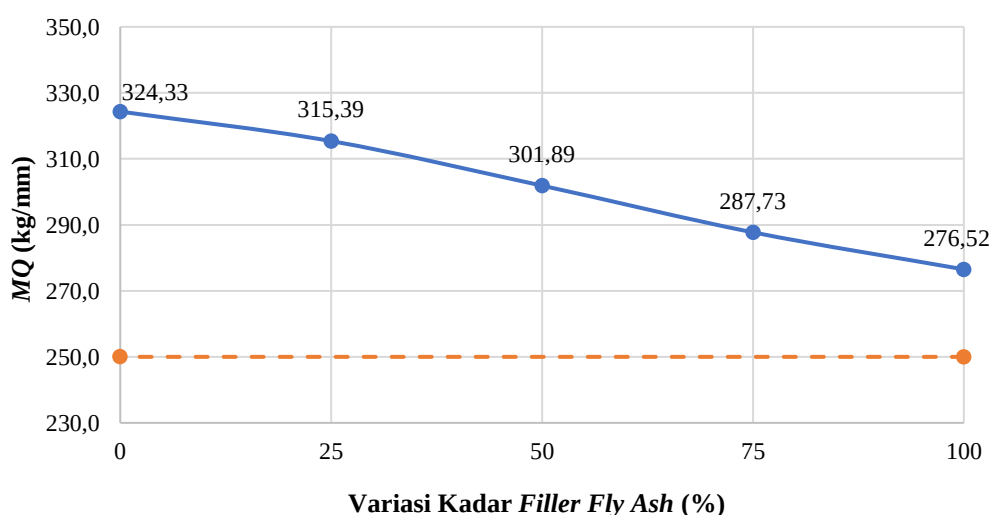
Penelitian Sugeha dkk. (2018), terkait penggunaan *filler* abu batu bara mengalami kenaikan pada setiap penambahan kadar *filler*. Penambahan kadar *filler* membuat campuran kurang mampu menahan beban yang besar. Semakin tinggi mastik dalam campuran mampu menurunkan viskositas, sehingga campuran

menjadi lebih plastis dan mengalami deformasi plastis yang lebih besar saat menerima beban.

Menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, persyaratan nilai *flow* yaitu 2 mm hingga 4,5 mm untuk campuran *SMA*. Sehingga hasil penelitian tersebut memenuhi syarat yang ditetapkan.

3. Analisis Pemanfaatan Substitusi *Filler FA* Terhadap Nilai *MQ*

Adapun pengaruh *filler FA* pada nilai *MQ* dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut,



Gambar 5.13 Grafik *MQ* Dalam Pengaruh Substitusi *Filler FA*

Pada grafik diatas, ketika substitusi kadar *filler FA* semakin besar maka nilai *MQ* juga mengalami penurunan. Metode analisis statistik *ANOVA*, menunjukkan bahwa penggunaan *filler FA* pada *MQ* sebesar 0,005 pada signifikansi 0,05. Nilai signifikansi didapatkan $0,005 < 0,05$ sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa *filler FA* berpengaruh terhadap *MQ*. Hal ini mengindikasikan campuran *SMA* 25,5 mm dengan penggunaan *filler FA* mempengaruhi nilai *MQ* campuran. *FA* memiliki densitas lebih rendah dibandingkan dengan *filler* lainnya. Ketika digunakan dalam jumlah besar, hal ini dapat mengurangi kekompakan campuran, mengakibatkan campuran yang lebih mudah terdeformasi saat menerima beban. *Filler* yang ideal harus mengisi ruang kosong di antara agregat dan memperbaiki kekuatan struktural

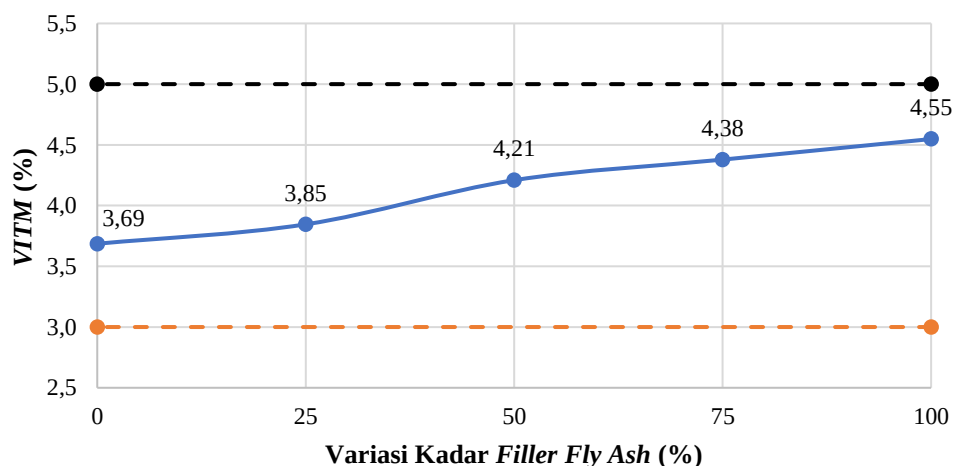
campuran. *FA* memiliki tekstur yang halus dan ringan, mungkin kurang efektif dalam mengisi celah tersebut dibandingkan *filler* dengan sifat yang lebih padat dan kuat. Pengaruh negatif dari *FA* pada nilai *MQ* akan lebih terasa seiring dengan peningkatan persentase *FA* dalam campuran. Pada kadar rendah, *FA* mungkin hanya memiliki efek minimal, tetapi pada kadar tinggi, sifat fisik yang lebih lemah mulai mendominasi, mengakibatkan penurunan dalam kekuatan campuran.

Menurut Wahyuningsih L. (2007), penurunan nilai *MQ* terjadi karena diperoleh dari perbandingan antara stabilitas dengan *flow*. Hal tersebut disebabkan karena *FA* memiliki sifat kedap air, maka berpotensi membuat film aspal menjadi tebal. Berdasarkan hal tersebut, nilai stabilitas menurun.

Menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, persyaratan nilai *MQ* yaitu > 250 kg/mm untuk campuran *SMA*. Sehingga hasil penelitian tersebut memenuhi syarat yang ditetapkan.

4. Analisis Pemanfaatan Substitusi *Filler FA* Terhadap Nilai *VITM*

Adapun pengaruh *filler FA* pada nilai *VITM* dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut,



Gambar 5.14 Grafik *VITM* Dalam Pengaruh Substitusi *Filler FA*

Pada grafik diatas, ketika substitusi kadar *filler FA* semakin besar maka nilai *VITM* juga mengalami kenaikan. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa seiring bertambahnya kadar *filler FA* dalam campuran aspal, nilai *VITM* cenderung mengalami peningkatan. Metode analisis statistik *ANOVA*, menunjukkan

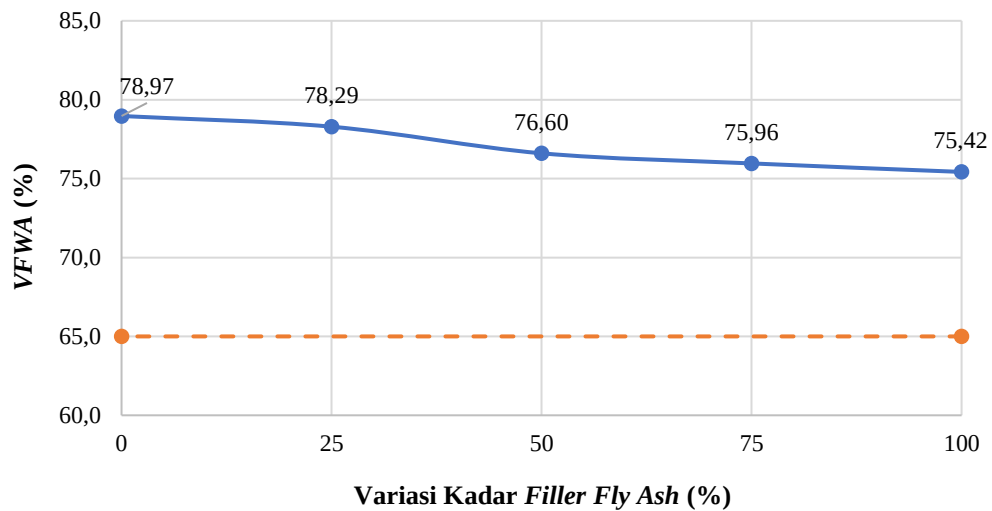
bahwa penggunaan *filler FA* pada *VITM* sebesar 0,075 pada tingkat signifikansi 0,05. Nilai signifikansi didapatkan $0,075 > 0,05$ sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa *filler FA* tidak berpengaruh terhadap *VITM*. Hal ini mengindikasikan campuran *SMA* 25,5 mm dengan penggunaan *filler FA* tidak mempengaruhi nilai *flow* campuran. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *FA* sebagai *filler* dalam campuran aspal dapat menyebabkan peningkatan volume rongga udara dalam campuran. Penambahan *filler FA* mempengaruhi kenaikan nilai *VITM* karena ukuran partikel *FA* yang halus cenderung tidak saling terkunci dengan baik, sehingga menyebabkan terbentuknya lebih banyak rongga dalam campuran aspal. Selain itu, *FA* memiliki sifat menyerap air yang mampu mengurangi daya ikat partikel dan dapat mempengaruhi distribusi aspal dalam campuran, sehingga meningkatkan volume rongga. Hasilnya, semakin tinggi kadar *FA* yang ditambahkan, semakin besar pula volume rongga dalam campuran, yang tercermin pada kenaikan grafik nilai *VITM*. Peningkatan ini dapat mempengaruhi kekuatan dan stabilitas campuran karena mengakibatkan campuran tidak kedap air dan udara.

Banafsaj dan Fauziah. (2018), pernah melakukan penelitian dengan memanfaatkan *FA* sebagai *filler* abu sekam padi dan menunjukkan nilai *VITM* semakin besar. Peningkatan nilai *VITM* terjadi karena *filler* memiliki tekstur permukaan yang kasar dan pori-pori besar, yang mengurangi *workability* campuran. Hal ini menyebabkan pemadatan campuran kurang optimal, sehingga terbentuk void yang lebih besar.

Menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, persyaratan nilai *VITM* yaitu 3% hingga 5% untuk campuran *SMA*. Sehingga hasil penelitian tersebut memenuhi syarat yang ditetapkan karena mendapatkan nilai sebesar 3,69% hingga 4,55%.

5. Analisis Pemanfaatan Substitusi *Filler FA* Terhadap Nilai *VFWA*

Adapun pengaruh *filler FA* pada nilai *VFWA* dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut,



Gambar 5.15 Grafik *VFWA* Dalam Pengaruh Substitusi *Filler FA*

Pada grafik diatas, ketika substitusi kadar *filler FA* semakin besar maka nilai *VFWA* mengalami penurunan. Metode analisis statistik *ANOVA*, menunjukkan bahwa penggunaan *filler FA* pada *VFWA* sebesar 0,078 pada tingkat signifikansi 0,05. Nilai signifikansi didapatkan $0,078 > 0,05$ sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa *filler FA* tidak berpengaruh terhadap *VFWA*. Penggunaan *FA* dapat mempengaruhi penurunan nilai *VFWA* karena sifat fisik *FA* yang halus dan cenderung menggumpal dapat mengurangi kemampuan aspal untuk mengisi rongga-rongga dalam campuran. Partikel-partikel *FA* yang halus dapat mengubah cara aspal berinteraksi dengan agregat dan *filler* lainnya. *FA* juga memiliki sifat *pozzolan* yang memengaruhi distribusi aspal, sehingga menyebabkan penurunan volume rongga yang terisi oleh aspal. Akibatnya, semakin banyak *filler FA* yang ditambahkan, semakin sulit bagi aspal untuk menyebar merata dan mengisi rongga, sehingga nilai *VFWA* menurun.

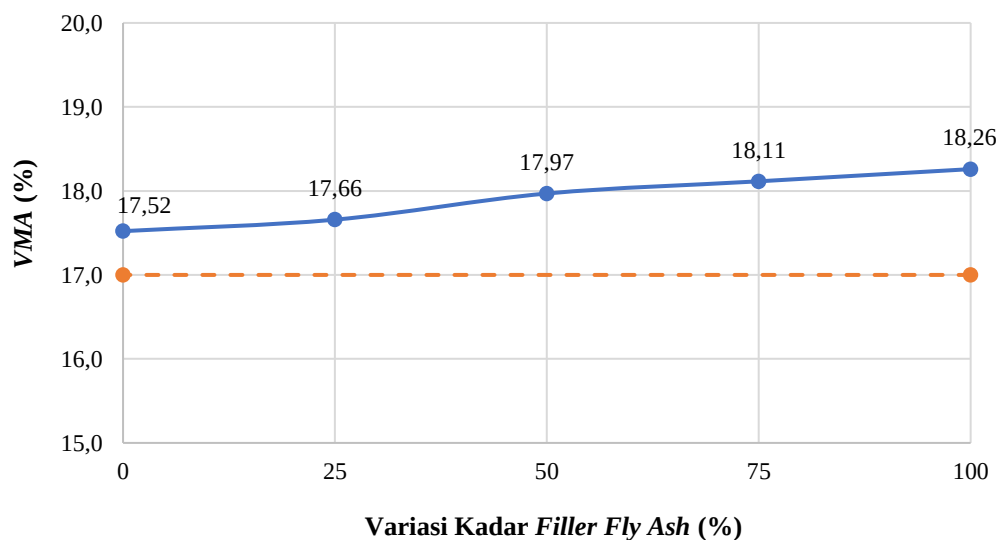
Wenur dkk. (2023) dan Hawari (2021), pernah melakukan penelitian dengan memanfaatkan *FA* sebagai *filler* dan menunjukkan nilai *VFWA* semakin kecil. Nilai *VFWA* yang dihasilkan mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya persentase penambahan *FA* dalam campuran aspal. Penurunan nilai *VFWA* ini

disebabkan oleh aspal yang menyerap dan melapisi *FA*. Akibatnya, proses pemadatan menjadi lebih sulit karena butiran *filler* cenderung menggumpal.

Menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, persyaratan nilai *VFWA* yaitu $> 65\%$ untuk campuran *SMA*. Sehingga hasil penelitian tersebut memenuhi syarat yang ditetapkan.

6. Analisis Pemanfaatan Substitusi *Filler FA* Terhadap Nilai *VMA*

Adapun pengaruh *filler FA* pada nilai *VMA* dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut,



Gambar 5.16 Grafik *VMA* Dalam Pengaruh Substitusi *Filler FA*

Pada grafik diatas, ketika substitusi kadar *filler FA* semakin besar maka nilai *VMA* juga mengalami kenaikan. Berdasarkan grafik ini, terlihat bahwa penambahan *filler FA* secara bertahap meningkatkan nilai *VMA*. Metode analisis statistik *ANOVA*, menunjukkan bahwa penggunaan *filler FA* pada *VMA* sebesar 0,075 pada tingkat signifikansi 0,05. Nilai signifikansi didapatkan $0,075 > 0,05$ sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa *filler FA* tidak berpengaruh terhadap *VMA*. Grafik menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar *FA* yang digunakan, semakin besar volume rongga dalam agregat mineral yang terbentuk dalam campuran aspal. Peningkatan nilai *VMA* ini mengindikasikan bahwa *FA* memiliki efek dalam

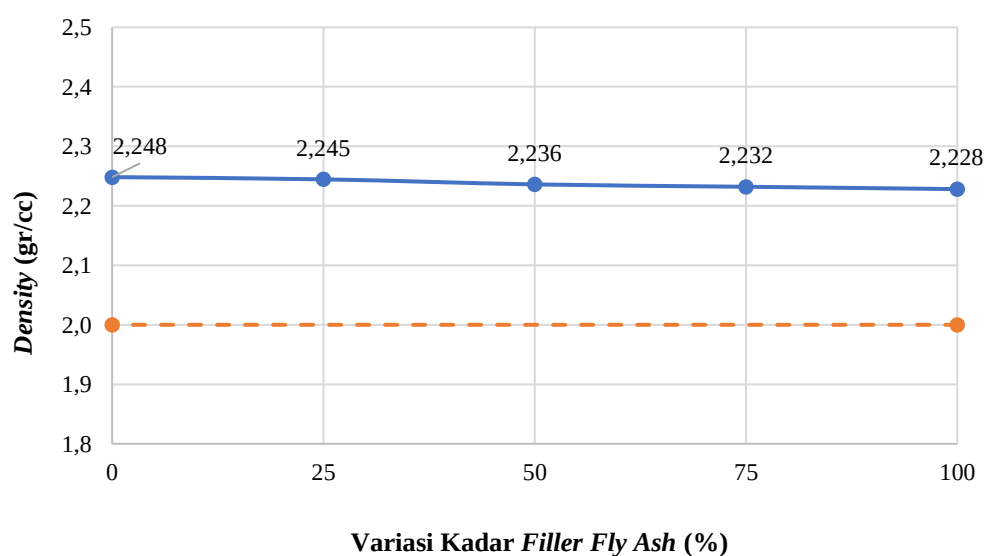
meningkatkan volume rongga antara partikel agregat, yang dapat mempengaruhi daya tahan dan sifat mekanis campuran aspal. Nilai tersebut berhubungan dengan peningkatan nilai *VITM* dan penurunan nilai *VFWA*. Kenaikan *VMA* berarti lebih banyak ruang atau rongga yang tersedia dalam campuran aspal yang tidak sepenuhnya terisi oleh aspal, sehingga mengindikasikan bahwa campuran memiliki lebih banyak udara atau ruang kosong. Selain itu, semakin tinggi *VMA* maka semakin banyak volume rongga dalam agregat yang terbentuk, karena aspal tidak mampu mengisi seluruh rongga yang ada dengan efektif.

Lizar I. (2021), pernah melakukan penelitian dengan memanfaatkan *FA* sebagai *filler* dan menunjukkan nilai *VMA* semakin besar. Peningkatan nilai *VMA* pada benda uji yang menggunakan *filler FA* disebabkan oleh sifat *pozzolan* yang dimiliki material tersebut. Sifat *pozzolan* pada *FA* menyebabkan *filler* cenderung menggumpal, sehingga membuat proses pemadatan menjadi lebih sulit dilakukan.

Menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, persyaratan nilai *VMA* yaitu $> 17\%$ untuk campuran *SMA*. Sehingga hasil penelitian tersebut memenuhi syarat yang ditetapkan.

7. Analisis Pemanfaatan Substitusi *Filler FA* Terhadap Nilai *Density*

Adapun pengaruh *filler FA* pada nilai *Density* dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut,



Gambar 5.17 Grafik *Density* Dalam Pengaruh Substitusi *Filler FA*

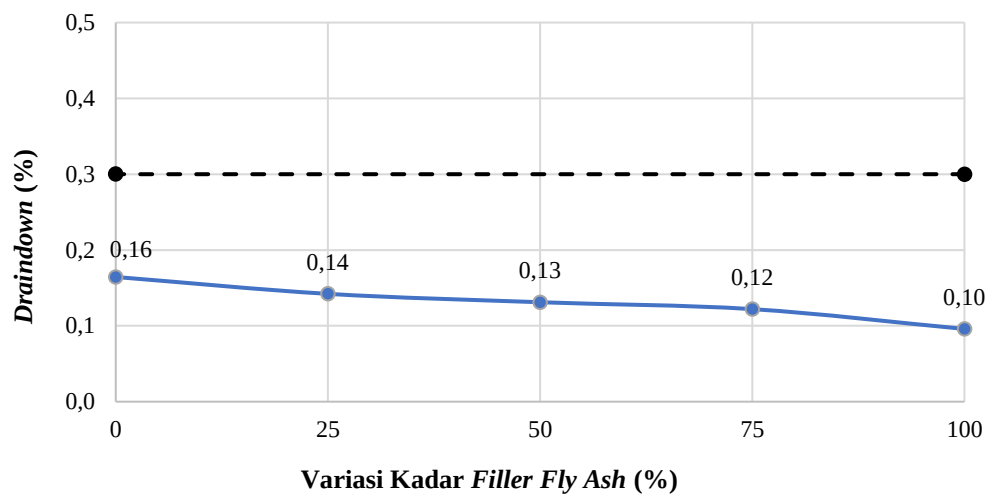
Pada grafik diatas, ketika substitusi kadar *filler FA* semakin besar maka nilai *density* juga mengalami penurunan. Metode analisis statistik *ANOVA*, menunjukkan bahwa penggunaan *filler FA* pada *density* sebesar 0,075 pada tingkat signifikansi 0,05. Nilai signifikansi didapatkan $0,075 > 0,05$ sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa *filler FA* tidak berpengaruh terhadap *density*. Penurunan nilai *density* tersebut karena *FA* memiliki massa jenis yang lebih rendah dibandingkan dengan agregat atau *filler* konvensional lainnya. Ketika *FA* ditambahkan, material yang lebih ringan ini menggantikan agregat yang lebih padat, sehingga menyebabkan penurunan densitas keseluruhan campuran. *FA* juga dapat menyerap air, sehingga dapat memengaruhi densitas. jika air tersebut tidak terikat dalam campuran aspal. Akibatnya, ketika kadar *FA* meningkat, nilai *density* dapat berkurang karena volume air yang diserap tidak berkontribusi terhadap peningkatan massa. Selain itu, penambahan *FA* dapat menyebabkan perubahan dalam struktur dan kepadatan partikel campuran. Jika *FA* tidak tersebar merata dan mengisi rongga di antara agregat, ini dapat menyebabkan volume rongga yang lebih besar, sehingga tentu membuat nilai *density* menurun.

Hidayat dan Kushari (2019), pernah melakukan penelitian dengan hasil nilai *density* mengalami penurunan terhadap penggunaan abu ampas tebu sebagai *filler* pada campuran. Menurutnya, penurunan nilai densitas ini berkaitan dengan penurunan nilai stabilitas seiring bertambahnya *filler AAT*. Secara umum, stabilitas yang tinggi biasanya disertai dengan kepadatan yang juga tinggi. Oleh karena itu, mengakibatkan rendahnya mastic pada campuran. Pada umumnya saat dilakukan pengujian di laboratorium, untuk hasil nilai *density* yaitu > 2 .

5.2.7 Analisis Pemanfaatan Substitusi *Filler FA* Terhadap Nilai *Draindown*

Adapun pengaruh *filler FA* pada nilai *Draindown* dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut,

Draindown adalah kondisi di mana agregat dan aspal terpisah dari keseluruhan sampel dan mengalir ke bagian bawah campuran (terjadi pengaliran aspal). Pengujian ini berfungsi untuk mengetahui jumlah aspal yang mengalir saat campuran berada pada suhu pencampuran sebelum dipadatkan.



Gambar 5.18 Grafik *Draindown* Dalam Pengaruh Substitusi Filler FA

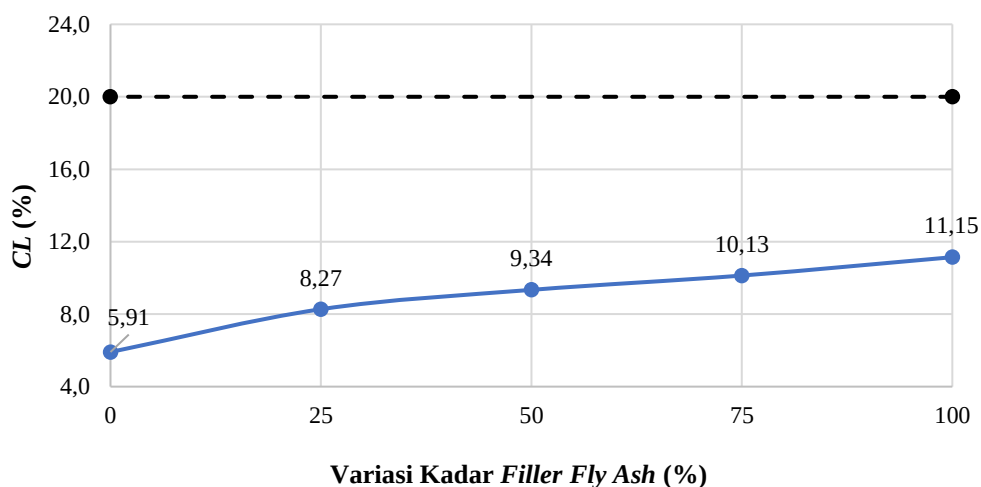
Pada gambar grafik diatas, nilai *draindown* mengalami penurunan. Metode analisis statistik *ANOVA*, menunjukkan bahwa penggunaan *filler FA* pada *draindown* sebesar 0,097 pada tingkat signifikansi 0,05. Nilai signifikansi didapatkan $0,097 > 0,05$ sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa *filler FA* tidak berpengaruh terhadap *draindown*. Penggunaan *FA* sebagai *filler* dalam campuran dapat mengurangi persentase *draindown*. Artinya, semakin tinggi kadar *FA* yang digunakan, semakin kecil kemungkinan aspal terpisah dari agregat dan mengalir ke bawah. Hal ini membuat campuran lebih stabil dan dapat mencegah terjadinya masalah yang disebabkan oleh pengaliran aspal saat campuran belum dipadatkan.

Supriyadi dan Rahardjo (2018), pernah melakukan penelitian tentang penggunaan bahan tambah plastik dan menunjukkan nilai *draindown* mengalami penurunan. Menurutny nilai *draindown* menurun seiring dengan peningkatan kadar plastik, dimana aspal yang dicampur dengan plastik menjadi lebih kental. Hal ini meningkatkan kekuatan ikatan antara aspal yang sudah dicampur plastik dengan agregat.

Menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, persyaratan nilai *draindown* yaitu $< 0,3\%$ untuk campuran *SMA*. Sehingga hasil penelitian tersebut memenuhi syarat yang ditetapkan.

5.2.8 Analisis Pemanfaatan Substitusi *Filler FA* Terhadap Nilai *CL*

CL adalah persentase kehilangan massa dari sampel campuran aspal setelah diuji dengan mesin *Los Angeles*. Pengujian ini bertujuan untuk menilai ketahanan campuran aspal terhadap keausan. Semakin rendah nilai *CL*, semakin baik ketahanan campuran aspal terhadap kerusakan akibat gesekan atau beban mekanis. Adapun grafik nilai *CL* dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut.



Gambar 5.19 Grafik *CL* Dalam Pengaruh Substitusi *Filler FA*

Pada grafik diatas, ketika substitusi kadar *filler FA* semakin besar maka nilai *CL* juga mengalami kenaikan. Hal ini mengindikasikan bahwa material menjadi lebih rentan terhadap kerusakan atau kehilangan massa saat diuji dengan metode *CL*. Metode analisis statistik *ANOVA*, menunjukkan bahwa penggunaan *filler FA* pada *CL* sebesar 0,068 pada tingkat signifikansi 0,05. Nilai signifikansi didapatkan $0,068 > 0,05$ sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa *filler FA* tidak berpengaruh terhadap *CL*. Nilai ini menunjukkan seberapa besar material campuran kehilangan massa akibat kerusakan mekanis. Penambahan kadar *FA*, berpotensi peningkatan kerusakan yang ditunjukkan oleh kenaikan nilai *CL*.

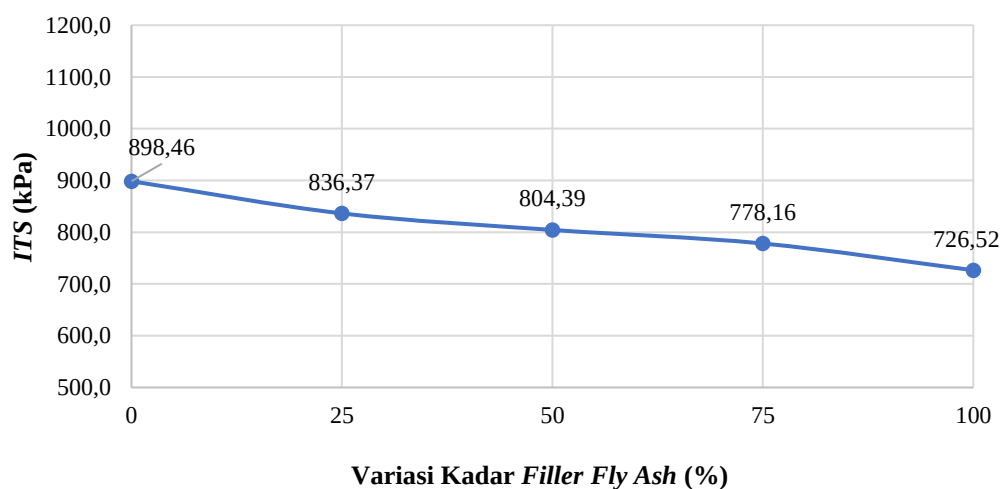
Hasil ini sesuai dengan penelitian Kushari dan Hidayat (2019), bahwa penggunaan *filler* dengan abu ampas tebu dapat memperoleh hasil untuk nilai *CL* mengalami kenaikan. Abu ampas tebu yang memiliki daya serap tinggi, ketika digunakan dalam jumlah berlebih mampu menyebabkan peningkatan penyerapan

aspal, sehingga campuran agregat tidak dapat terikat dengan baik. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian.

Menurut Spesifikasi AASHTO 2020, persyaratan nilai *flow* yaitu $< 25\%$ untuk campuran *SMA*. Sehingga hasil penelitian tersebut memenuhi syarat yang ditetapkan

5.2.9 Analisis Pemanfaatan Substitusi *Filler FA* Terhadap Nilai *ITS*

ITS adalah parameter yang digunakan untuk mengukur kekuatan tarik tidak langsung dari suatu material. Uji *ITS* dilakukan dengan memberikan beban kompresi pada sisi samping benda uji berbentuk silinder yang mengakibatkan timbulnya tegangan tarik di sepanjang bidang tengah benda uji. Nilai *ITS* ini mencerminkan kemampuan material untuk menahan gaya tarik, yang berhubungan dengan daya tahan dan kekuatan material terhadap retak atau pecah akibat beban yang diterapkan. Adapun grafik nilai *ITS* dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut.



Gambar 5.20 Grafik *ITS* Dalam Pengaruh Substitusi *Filler FA*

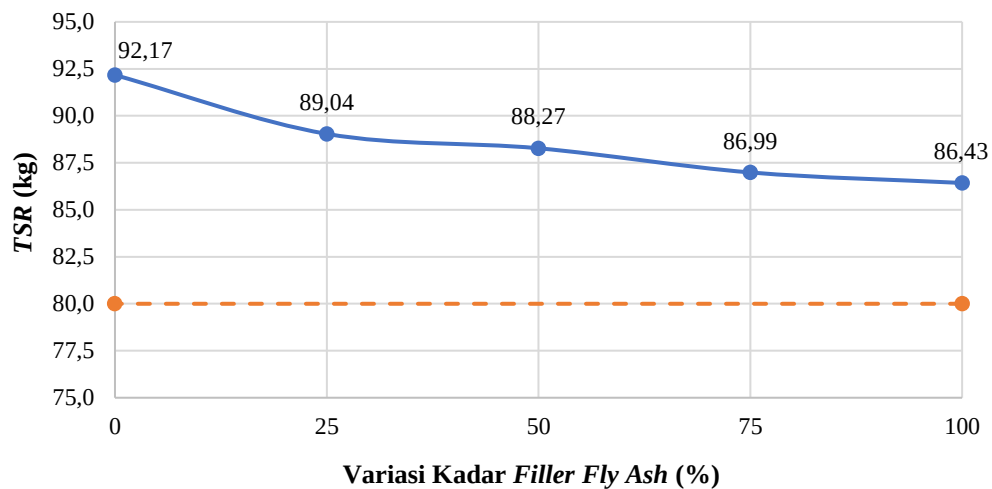
Pada grafik diatas, ketika substitusi kadar *filler FA* semakin besar maka nilai *ITS* mengalami penurunan. Metode analisis statistik *ANOVA*, menunjukkan bahwa penggunaan *filler FA* pada *ITS* sebesar 0,006 pada tingkat signifikansi 0,05. Nilai signifikansi didapatkan $0,006 < 0,05$ sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa *filler FA* berpengaruh terhadap *ITS*. Penurunan nilai *ITS* menunjukkan bahwa penambahan *FA* dalam jumlah yang lebih besar cenderung mengurangi kekuatan

tarik tidak langsung dari campuran. Ini mengindikasikan bahwa campuran menjadi kurang mampu menahan tegangan tarik, sehingga dapat lebih mudah retak. *FA* yang bertindak sebagai *filler* dapat mempengaruhi sifat mekanik dari material. Meskipun *FA* dapat meningkatkan beberapa sifat seperti *workability*, tetapi penambahan yang berlebihan mampu menurunkan kekuatan mekanik, yang tercermin dalam penurunan nilai *ITS* ini sehingga berpotensi menyebabkan kerusakan seperti deformasi permanen atau *rutting*.

Hasil nilai *ITS* tersebut sejalan dengan penelitian Sukmo dan Chasanah (2023), tentang penelitian penggunaan *filler* bubuk talk. Nilai tersebut menunjukkan penurunan pada grafik *ITS* karena kurangnya ketahanan kuat tarik pada campuran karena penambahan kadar *filler* yang terlalu tinggi walaupun mengalami kenaikan sampai kadar 50%. Penelitian ini juga sejalan dengan Nugroho (2018) bahwa penggunaan *filler* abu ampas tebu berpengaruh pada penurunan nilai *ITS*. Nilai tersebut terjadi karena banyaknya *filler* yang masuk mengakibatkan kuat tarik semakin berkurang dan berpotensi membuat retakan akan lebih tinggi. Penurunan disebabkan karena aspal tidak menyelimuti agregat secara menyeluruh dan rongga lebih banyak diisi oleh *filler*.

5.2.10 Analisis Pemanfaatan Substitusi *Filler FA* Terhadap Nilai *TSR*

Nilai *TSR* dihitung dengan perbandingan kekuatan tarik bahan uji yang direndam selama 24 jam dalam *waterbath* pada suhu 60°C dengan kekuatan tarik bahan uji yang tidak direndam. Hasil perbandingan tersebut kemudian dinyatakan dalam bentuk persentase. Adapun grafik *TSR* dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut.



Gambar 5.21 Grafik *TSR* Dalam Pengaruh Substitusi *Filler FA*

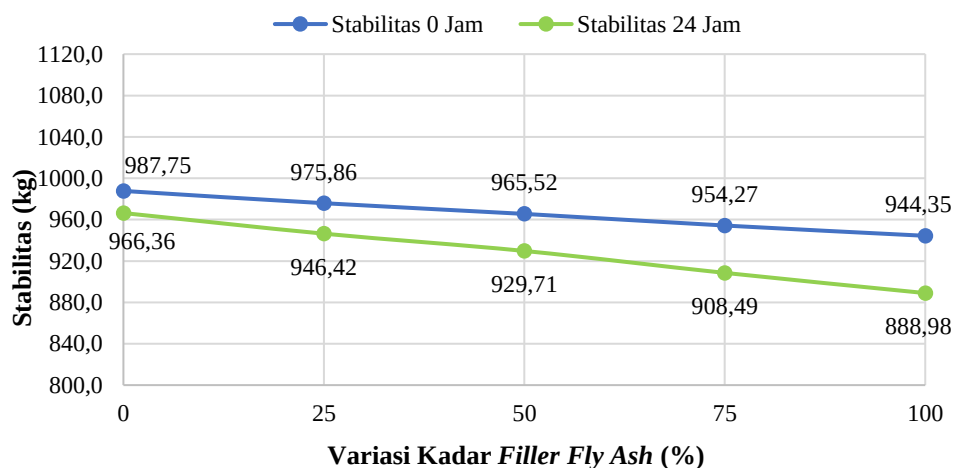
Pada grafik diatas, ketika substitusi kadar *filler FA* semakin besar maka nilai *TSR* mengalami penurunan. Metode analisis statistik *ANOVA*, menunjukkan bahwa penggunaan *filler FA* pada *TSR* sebesar 0,082 pada tingkat signifikansi 0,05. Nilai signifikansi didapatkan $0,082 > 0,05$ sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa *filler FA* tidak berpengaruh terhadap *TSR*. Penurunan yang terlihat pada grafik ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan *FA*, semakin rendah kemampuan bahan untuk mempertahankan kekuatan tariknya setelah terpapar air. Ini bisa menjadi indikasi bahwa penggunaan *FA* dalam kadar tinggi berpotensi mengurangi kualitas kekuatan atau mengurangi daya tahan tarik material terhadap kondisi basah atau lembap.

Tajudin dkk. (2017) pernah melakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan limbah plastik sebagai *filler* terhadap nilai *TSR*. Nilai *TSR* akan terus berkurang seiring dengan meningkatnya durasi perendaman. Hal ini terjadi karena air menyebabkan ikatan antara agregat dan aspal melemah, sehingga kekuatan tariknya menurun. Hasil ini juga seiring dengan penelitian Mulyono dkk. (2023) tentang pengaruh butir karet terhadap nilai *TSR*. Penurunan nilai *TSR* disebabkan karena penambahan kadar butir karet pada campuran membuat sifat adhesi dan kohesi aspal menurun akibat pengaruh air rendaman, sehingga kekuatan tarik campuran berkurang.

Menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, persyaratan nilai *TSR* yaitu > 80% untuk campuran *SMA*. Sehingga hasil penelitian tersebut memenuhi syarat yang ditetapkan

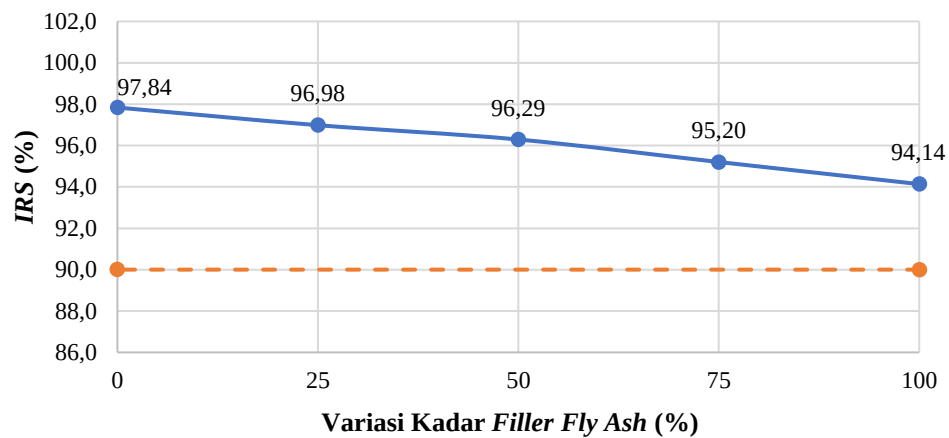
5.2.11 Analisis Pemanfaatan Substitusi *Filler FA* Terhadap Nilai *IRS*

IRS merupakan angka yang digunakan untuk mengetahui keawetan suatu campuran dengan membandingkan stabilitas benda uji setelah direndam dalam air selama 0,5 jam dengan stabilitas benda uji yang direndam selama 24 jam. Nilai *IRS* mencerminkan kemampuan campuran untuk mempertahankan kekuatan setelah terpapar air, terutama dalam menentukan ketahanan dan daya tahan material dalam kondisi lingkungan yang lembap atau basah. Adapun grafik stabilitas rendaman dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut.



Gambar 5.22 Grafik Hubungan Stabilitas Rendaman

Berdasarkan grafik diatas, didapatkan nilai stabilitas dengan rendaman 0 jam lebih tinggi daripada rendaman 24 jam. Nilai tersebut terjadi akibat banyaknya air yang masuk dalam campuran saat rendaman 24 jam sehingga membuat ikatan adhesi aspal dengan agregat menjadi turun. Adapun grafik nilai *IRS* dapat dilihat pada Gambar 5.23 berikut.



Gambar 5.23 Grafik *IRS* Dalam Pengaruh Substitusi *Filler FA*

Pada grafik diatas, semakin banyak kadar *filler* membuat nilai *IRS* semakin menurun. Metode analisis statistik *ANOVA*, menunjukkan bahwa penggunaan *filler FA* pada *IRS* sebesar 0,091 pada tingkat signifikansi 0,05. Nilai signifikansi didapatkan $0,091 > 0,05$ sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa *filler FA* tidak berpengaruh terhadap *IRS*. Penurunan grafik tersebut menunjukkan bahwa pada campuran tersebut memiliki rongga, dimana semakin bertambah kadar *filler*, maka semakin tinggi rongga yang ada. Hal tersebut dapat mengakibatkan menurunnya ketahanan campuran karena suhu, cuaca, dan air.

Hasil ini sesuai dengan penelitian Nugroho (2018) terkait pengaruh penggunaan *filler* abu ampas tebu terhadap nilai *IRS*. Nilai *IRS* yang turun menandakan bahwa kemampuan campuran dalam menahan cuaca, air, dan suhu akan semakin berkurang. Penurunan tersebut sejalan dengan hasil nilai *VMA*, dimana rongga pada campuran tergolong tinggi akibat semakin banyaknya kadar *filler* yang masuk.

Menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, persyaratan nilai *TSR* yaitu > 90% untuk campuran *SMA*. Sehingga hasil penelitian tersebut memenuhi syarat yang ditetapkan

5.2.12 Analisis Pemanfaatan Substitusi *Filler FA* Terhadap Nilai *VCA*

Berdasarkan uji *VCA* yang dilakukan, hasil untuk nilai rasio VCA_{MIX}/VCA_{DRC} sebesar 0,7. Nilai tersebut menunjukkan hasil dari campuran *SMA* 25 mm mengalami kontak yang baik antar agregat.

Menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, persyaratan nilai *VCA* yaitu $VCA_{MIX}/VCA_{DRC} < 1,0$ untuk campuran *SMA*. Sehingga hasil penelitian tersebut memenuhi syarat yang ditetapkan

5.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Filler FA* pada Campuran *SMA*

Adapun rekapitulasi pengujian *filler FA* pada campuran *SMA* dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut.

Tabel 5. 16 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Filler FA* pada Campuran *SMA*

Tinjauan	Parameter	Substitusi <i>Filler FA</i> (%)					Keterangan
		0	25	50	75	100	
Kekuatan Struktur	Stabilitas (kg)	987,75	975,86	965,52	954,27	944,35	Semakin tinggi kadar <i>filler FA</i> , maka nilai stabilitas semakin menurun, tetapi tidak signifikan. Penurunan tersebut membuat daya tahan dan kekuatan campuran berkurang dalam menahan deformasi yang diterima
	<i>Flow</i> (mm)	3,05	3,10	3,20	3,32	3,42	Semakin tinggi kadar <i>filler FA</i> , maka nilai <i>flow</i> semakin meningkat, tetapi tidak signifikan. Campuran menjadi lebih plastis, kekuatannya untuk menahan beban besar menurun sehingga lebih mudah mengalami deformasi dengan risiko kegagalan atau kerusakan yang lebih cepat.
	<i>MQ</i> (kg/mm)	324,33	315,39	301,89	287,73	276,52	Semakin tinggi kadar <i>filler FA</i> , maka nilai <i>MQ</i> semakin menurun secara signifikan. Hal tersebut dapat mengurangi kekompakan campuran, mengakibatkan campuran yang lebih mudah terdeformasi saat menerima beban.

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Filler FA* pada Campuran *SMA*

Tinjauan	Parameter	Substitusi <i>Filler FA</i> (%)					Keterangan
		0	25	50	75	100	
Kekuatan Struktur	<i>ITS</i> (kPa)	898,46	836,37	804,39	778,16	726,52	Semakin tinggi kadar <i>filler FA</i> , maka nilai <i>ITS</i> semakin menurun secara signifikan. Penurunan tersebut cenderung mengurangi kekuatan tarik tidak langsung dari campuran. Ini mengindikasikan bahwa campuran menjadi kurang mampu menahan tegangan tarik, sehingga dapat lebih mudah retak.
Volumetrik	<i>VFWA</i> (%)	78,97	78,29	76,60	75,96	75,42	Semakin tinggi kadar <i>filler FA</i> , maka nilai <i>VFWA</i> semakin menurun, tetapi tidak signifikan. Sifat <i>pozzolan FA</i> memengaruhi distribusi aspal dan menyebabkan penurunan volume rongga yang terisi oleh aspal sehingga mengurangi ketahanan campuran terhadap deformasi permanen.
	<i>VITM</i> (%)	3,69	3,85	4,21	4,38	4,55	Semakin tinggi kadar <i>filler FA</i> , maka nilai <i>VITM</i> semakin meningkat, tetapi tidak signifikan. Hal itu menyebabkan peningkatan volume rongga udara dalam campuran menjadi lebih besar.

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Filler FA* pada Campuran *SMA*

Tinjauan	Parameter	Substitusi <i>Filler FA</i> (%)					Keterangan
		0	25	50	75	100	
Volumen trk	<i>VMA</i> (%)	17,52	17,66	17,97	18,11	18,26	Semakin tinggi kadar <i>filler FA</i> , maka nilai <i>VMA</i> semakin meningkat, tetapi tidak signifikan. Hal itu menyebabkan peningkatan jarak antar agregat dalam campuran menjadi lebih besar.
	<i>VCA</i>	0,821	0,849	0,868	0,882	0,893	Semakin tinggi kadar <i>filler FA</i> , maka nilai <i>VCA</i> semakin meningkat, tetapi tidak signifikan. Nilai tersebut masih memenuhi minimum spesifikasi yang disyaratkan sehingga campuran masih dapat menahan deformasi yang terjadi.
	<i>Density</i> (gr/cc)	2,25	2,24	2,24	2,23	2,23	Semakin tinggi kadar <i>filler FA</i> , maka nilai <i>Density</i> semakin menurun, tetapi tidak signifikan. Hal ini menyebabkan volume rongga yang lebih besar membuat kerapatan campuran berkurang

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Filler FA* pada Campuran *SMA*

Tinjauan	Parameter	Substitusi <i>Filler FA</i> (%)					Keterangan
		0	25	50	75	100	
Durabilitas	<i>IRS</i> (%)	97,84	96,98	96,29	95,20	94,14	Semakin tinggi kadar <i>filler FA</i> , maka nilai <i>IRS</i> semakin menurun, tetapi tidak signifikan. Hal tersebut dapat mengakibatkan menurunnya keawetan campuran karena suhu, cuaca, dan air.
	<i>Draindown</i> (%)	0,16	0,14	0,13	0,12	0,10	Semakin tinggi kadar <i>filler FA</i> , maka nilai <i>draindown</i> semakin menurun, tetapi tidak signifikan. Sehingga semakin kecil kemungkinan aspal terpisah dari agregat dan mengalir ke bawah. Hal ini membuat campuran lebih stabil dan dapat mencegah terjadinya masalah yang disebabkan oleh pengaliran aspal saat campuran belum dipadatkan.
	<i>CL</i> (%)	5,91	8,27	9,34	10,13	11,16	Semakin tinggi kadar <i>filler FA</i> , maka nilai <i>CL</i> semakin meningkat, tetapi tidak signifikan. Sehingga campuran menjadi lebih rentan terhadap kerusakan atau kehilangan massa saat diuji dengan metode <i>CL</i> .

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Filler FA* pada Campuran *SMA*

Tinjauan	Parameter	Substitusi <i>Filler FA</i> (%)					Keterangan
		0	25	50	75	100	
Durabilitas	<i>TSR</i> (%)	92,17	89,04	88,27	86,99	86,43	Semakin tinggi kadar <i>filler FA</i> , maka nilai <i>TSR</i> semakin menurun, tetapi tidak signifikan. Hal ini bisa menjadi indikasi bahwa penggunaan <i>FA</i> dalam kadar tinggi berpotensi mengurangi kualitas kekuatan atau mengurangi daya tahan tarik campuran terhadap kondisi basah atau lembap.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilaksanakan, dapat diketahui pengaruh penggunaan *filler FA* terhadap campuran *SMA*. Variasi kadar yang dipakai yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Adapun dari nilai yang telah diperoleh, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pemanfaatan *FA* sebagai *filler* pada campuran *SMA* berpengaruh pada kekuatan campuran tersebut. Didapatkan penurunan nilai ketahanan pada campuran dari kadar 0% hingga 100%, sehingga membuat campuran ketahanannya berkurang serta kurang mampu menahan tegangan tarik, sehingga dapat lebih mudah retak. Namun, uji statistik *ANOVA* pada parameter struktur tidak menunjukkan pengaruh signifikan pada penggunaan *FA* sebagai *filler* pengganti kecuali pada nilai *MQ*. Secara keseluruhan, penggunaan *filler* konvensional lainnya seperti abu debu lebih baik dibandingkan *FA* jika dinilai dari segi kekuatan struktur campuran.
2. Pemanfaatan *FA* sebagai *filler* campuran *SMA* juga memengaruhi nilai volumetrik. Meskipun *FA* dapat memasuki rongga campuran, tetapi tidak mengisi rongga secara keseluruhan karena bentuk fisik *FA* yang menggumpal antar partikelnya serta sifat *FA* yang dapat menyerap lebih banyak aspal, sehingga tidak dapat mengisi rongga dengan sempurna dan aspal yang tersedia untuk mengisi ruang antar agregat menjadi lebih sedikit. Hal ini memengaruhi kemampuan campuran untuk memadatkan campuran dengan baik, karena terdapat rongga campuran yang tidak terisi sempurna oleh *filler*. Namun, uji statistik *ANOVA* pada parameter volumetrik tidak menunjukkan pengaruh signifikan pada penggunaan *FA* sebagai *filler* pengganti kecuali pada nilai *ITS*. Secara keseluruhan, penggunaan *filler* konvensional lainnya seperti abu debu lebih baik dibandingkan *FA* jika dinilai dari segi volumetrik campuran.

3. Pemanfaatan *FA* sebagai *filler* campuran *SMA* juga berpengaruh pada durabilitas. *FA* dapat meningkatkan beberapa sifat seperti *workability*, tetapi penambahan yang berlebihan mampu menurunkan kekuatan mekanik, seiring dengan hasil yang diperoleh yaitu semakin bertambah kadar *filler*, maka semakin tinggi rongga yang ada, sehingga berpotensi menyebabkan kerusakan seperti deformasi permanen atau *rutting*. Selain itu keawetan campuran dalam menahan keausan yang disebabkan air, udara, dan suhu juga berkurang, tetapi masih dapat dimanfaatkan karena memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 Revisi 2.

6.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang sudah dibuat melalui data hasil pengujian yang dilakukan, penelitian memberikan saran sebagai berikut.

1. Diperlukan penelitian lanjutan terkait pemanfaatan *FA* sebagai *filler* pada berbagai jenis campuran perkerasan lainnya.
2. Perlu melakukan uji karakteristik fisik dan kandungan unsur mineral atau kimia *FA* secara rutin untuk memastikan bahwa bahan tersebut memiliki sifat yang konsisten dan tidak berpengaruh negatif terhadap kekuatan campuran.
3. Secara keseluruhan nilai yang diperoleh dari pemanfaatan *FA* sebagai *filler* masih memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, sehingga masih dapat digunakan untuk menggantikan *filler* abu debu pada campuran.

DAFTAR PUSTAKA

- Alpius., Musu, D. S. B., dan Mangontan, R. 2022. Durabilitas Campuran *Stone Matrix Asphalt* Kasar Menggunakan Limbah *Gypsum* Sebagai Substitusi *Filler*. Jurnal Teknik Sipil UKIPaulus-Makassar. Vol.6, No.1.
- Alvin, M., Jusmidah., dan Fathussalam, A. 2024. Pemanfaatan *Fly Ash* AMP PT. Piranti Jagad Raya Sebagai *Filler* Perkerasan AC-BC. Jurnal Ilmiah Ecosystem Volume 24 Nomor 1.
- Banafsaj, H, H. dan Fauziah, M. 2018. Kinerja Campuran *Stone Matrix Asphalt* 12,5 mm Dengan *Filler* Abu Sekam Padi Akibat Lama Rendaman Air Laut. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Chasanah, F dan Sukmo. T.A. 2023. Pengaruh Bubuk Talk Sebagai Bahan Filler Pengganti Pada Campuran AC-WC. *Asian Journal of Innovation and Entrepreneurship*. Yogyakarta. 7(3), 82-90.
- Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 Revisi 2. Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2 Divisi 6. Penerbit Bina Marga, Jakarta.
- Pasayu, D., Arliansyah, J., dan Kadarsa, E. 2023. Pemanfaatan *Recycling Asphalt* Untuk Lapisan AC-WC dengan Penambahan Material *Bottom Ash* Pada Perkerasan Lentur. *Cantilever: Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 12(1), 29-40.
- Hidayat, R. dan Kushari, B. 2019. Analisis Karakteristik Campuran *Stone Matrix Asphalt* Dengan Abu Ampas Tebu Sebagai *Filler* Pengganti. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Hasrullah, Syarif, I, A., dan Harwadi, F. 2022. Pemanfaatan Limbah Plastik dan *Fly Ash* Pada Campuran Lapisan Perkerasan Jalan. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure* (JACEIT). Vol.4, No.1.
- Hawari, F., & Lizar, L. 2021. Analisis Pengaruh Penggantian *Filler* Abu Sawit *Fly Ash* Dan *Bottom Ash* Terhadap Karakteristik Perkerasan Lentur (Ac-Wc). *Jurnal TeKLA*, 3(1), 1-6.
- Indriyati, T. S., Malik, A., & Alwinda, Y. 2019. Kajian Pengaruh Pemanfaatan Limbah FABA (*Fly Ash* dan *Bottom Ash*) Pada Konstruksi Lapisan Base Perkerasan Jalan. *Jurnal Teknik*, 13(2), 112-119.

- Kulawa, N., Sarie, F., dan Yani, M. I. 2021. Pengaruh Penambahan Semen Portland, Abu Sekam, dan *Fly Ash* Terhadap Nilai Daya Dukung Tanah Lempung Sebagai *Subgrade* Perkerasan Jalan. Jurnal Keilmuan Teknik Sipil. Vol.4, No.1.
- Mulyono, A. T., dan Suparma, L. B. 2023. Pengaruh Ukuran Butir Karet Ban Bekas Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran *Asphalt Concrete-Binder Course*. Jurnal HPJI (Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia). Vol.9, No.2.
- Nugroho. 2018. Perbandingan Karakteristik Campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* Berbahan Ikut Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E-55 Dengan Substitusi *Filler* Abu Ampas Tebu. Tugas Akhir (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Prasetyo, H., Poernomo, Y, C, S., dan Candra, A, I. 2020. Studi Perencanaan Perkerasan Lentur dan Rencana Anggaran Biaya. Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil. Vol.3, No.2.
- Purbanto, I, G, R., Thanaya, I. N. A., dan Dewi, N. K. S. 2022. Analisis Karakteristik Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* Dengan Serat Selulosa Serabut Kelapa. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, 26(1), 1-10.
- Prasetiawan, T. 2021. Kontroversi Penghapusan Faba Dari Daftar Limbah B3. Jurnal Singkat Vol. XIII, No.7.
- Rodhiah, A., Yani, I., dan Mahdi. 2023. Analisis *Fly Ash* Terhadap *Filler* Pada Campuran Aspal Porus. Jurnal Rekayasa Teknik dan Teknologi REKATEK. Vol.7, No.2.
- Pagau, J., Alpius,. dan Pagoray. L. 2024. Pemanfaatan Agregat Sungai (Saku Bangkok) Kabupaten Tana Toraja Pada Campuran *Stone Matrix Asphalt* Kasar. Paulus Civil Engineering Journal (PCEJ). Vol.6, No.2
- Rachman, D., N., Riwayati, S., Sirait, d., R., dan Arfan, M. 2022. Penambahan *Fly Ash* Batu Bara PLTU Sebagai *Filler* Aspal ACWC. Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil 7(4).
- Sadillah, M., Arifin, Z, M., dan Wicaksono, A., 2018. Penggunaan *Fly Ash* Sebagai *Filler* Terhadap Karakteristik *Marshall* Beton Aspal Lapis Aus (*AC-WC*). Jurnal Rekayasa Sipil Dan Lingkungan. Vol2. No1.
- Setiawan, A., Zabadi, F., dan Maulana, R., A. 2023. Limbah Industri Sebagai *Filler* dan Agregat Pamekasan Pada Campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course* Ditinjau dari Karakteristik *Marshall*. Journal of Civil Engineering and Planning Vol 4.
- Sarwono, D., Pramesti, F, Pungky., dan Kurniawan, H, L. 2018. Analisis *Tensile Strength, Bending Cantabro, Dan Permeabilitas* Pada *Split Mastic Asphalt (SMA)* Dengan Bahan Tambah *High Density Polyethylene (HDPE)*. E-Jurnal Matriks Teknik Sipil. Vol.6, No.2.

- Sukirman, S. 2016. Beton Aspal Campuran Panas. Penerbit Institut Teknologi Nasional. Bandung.
- Sukirman, S. 1999. Perkerasan Lentur Jalan Raya. Penerbit Nova. Bandung.
- Sugeha, A., I., R., Sulandari, E., dan Suyono. 2018 Pemanfaatan Limbah Batu Bara Sebagai *Filler* Pada Campuran Laston. Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang, 5(3).
- Supriyadi, I. R. D., dan Rahardjo, B. 2018. Kajian Eksperimental Campuran Aspal Porus Dengan Bahan Tambahan plastik *HDPE (HIGH DENSITY POLY ETHYLENE)*. Jurnal Bangunan, Vol. 23, No.2
- Tahir, A., Mashuri., dan Arifin, S. 2018. Karakteristik *Draindown* Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* Yang Menggunakan *Filler* Abu-Batu Dan Semen. Prosiding Simposium Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi, 21(10).
- Tajudin, A. N., dan Suparma, L. B. 2017. Pengaruh rendaman pada indirect tensile strength campuran AC-BC dengan limbah plastik sebagai agregat pengganti. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 23(2), 166-173.
- Wenur, K. R., Palenewen, S. C. N., & Waani, J. E. 2023. Pengaruh Variasi Kandungan Bahan Pengisi Filler Fly Ash Batu Bara Pada Campuran Beraspal Panas Jenis Lataston Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC). *TEKNO*, 21(85).
- Widayanti, A., Soemitro, R, A, A., Ekaputri, J, J., dan Suprayitno, H. 2020. Analisis Pemanfaatan Zat Aditif Pada *Reclaimed Asphalt Pavement* Untuk Lapisan Beton Aspal. Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas. Vol.4, No.1.
- Wahyuningsih, L. 2007. Komparasi Penggunaan *Filler Fly Ash* (Abu Terbang Batu Bara), *Filler* Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash*), dan *Filler* Abu Batu pada Kinerja Lapis Aspal Beton (LASTON). Tugas Akhir (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Yuniarti, R., Hasyim., Hariyadi., dan Handayani, T. 2019. Penggunaan Limbah Kaca Sebagai *Filler* Pada Campuran Perkerasan Aspal Panas. Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil. Vol.26, No.3.
- Yuniarti, R., Widianty, D., Hasyim., Mahendra, M., Karyawan, I, D, M, A., dan Salsabila, F, F. 2023. Pengaruh Karakteristik Agregat Terhadap Nilai *Indirect Tensile Strength* Pada Campuran Laston. Spektrum Sipil. Vol.10, No.1.
- Zakariya, A., Rosyadi, S., dan Yudhono, G. 2022. Potensi Pemanfaatan *Fly Ash* Dalam Pembangunan Konstruksi Jalan Dan Jembatan Untuk Mewujudkan Infrastruktur Berkelanjutan Di Indonesia. Jurnal Infrastruktur. Vol.9, No.4.

LAMPIRAN



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat_ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011

- 1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : 2024

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	15,39	15,63
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	25,95	25,92
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	10,56	10,29
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	16,42	16,78
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	1,03	1,15
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	26,01	25,94
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	9,59	9,16
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	0,97	1,13
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,06	1,018
10	Rata-rata BJ Aspal	1,040	



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

Yogyakarta, 2024
Peneliti
Dony Prasetya
NIM : 20 511 211



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uui.ac.id

Lampiran 2 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL

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

- 1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	27 °C	10.00 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	10.30 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	140 °C	10.30 WIB	
	Selesai	27 °C	13.00 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	25 °C	13.00 WIB	
	Selesai	25 °C	13.30 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	65	66			
2	64	65			
3	68	68			
4	66	65			
5	67	69			
Rata2	66	66,6			
Rata2	66,3				

Disahkan Oleh
Mannger Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
Ir. Berlian Kusnari, M.Eng., I.P.M., ASEAN, Eng.
NIK : 01 511 0101

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti
Dony Prasetya
NIM : 20 511 211



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 3 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR

RUJUKAN; AASHTO T 48-74, ASTM D 92-52

- 1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	27 °C	09.40 WIB	
	Selesai	310 °C	10.20 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	315 °C	320 °C	
2	Benda uji 2			
3	Rata - rata	315 °C	320 °C	

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
Ir. Berhan Kushan, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Dony Prasetya
NIM : 20 511 211



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 4 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPHAL

RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

- 1 Sumber Material : Pertamina
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
- 3 Diuji Pada : 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	5 °C	13.15 WIB	
	Selesai	48 °C	13.30 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)				Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji I		Benda Uji II		I	II
1	5 °C	0	detik	0	detik		
2	10 °C	60	detik	60	detik		
3	15 °C	120	detik	120	detik		
4	20 °C	180	detik	180	detik		
5	25 °C	240	detik	240	detik		
6	30 °C	300	detik	300	detik		
7	35 °C	360	detik	360	detik		
8	40 °C	420	detik	420	detik		
9	45 °C	480	detik	480	detik		
10	50 °C	525	detik	527	detik	48°C	49°C
11	55 °C						
12	60 °C						

Disetujui Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Bismillah, M.Eng., IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Dony Prasetya
NIK : 20 511 211



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 5 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE

RUJUKAN : AASHTO : T - 51 -74 ; ASTM D - 113 - 69

- 1 Contoh dari : Pertamina
- 2 Jenis contoh : Aspal Pertamina Pen 60/70
- 3 Diperiksa tg : 2024

Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan benda uji	Aspal dipanaskan	15 menit	suhu pemans $\pm 135^{\circ}\text{C}$
2	Mendinginkan benda uji	Diamkan pada suhu ruang	60 menit	suhu ruang $\pm 28^{\circ}\text{C}$
3	Perendaman benda uji	Direndam dalam water pada suhu 25°C	60 menit	suhu water bath $\pm 25^{\circ}\text{C}$
4	Pemeriksaan	Diuji daktilitas pada suhu 25°C , kecepatan 5 cm per menit	20 menit	suhu alat $\pm 25^{\circ}\text{C}$

Hasil pemeriksaan

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	164 cm	Tidak Putus
2	Sampel 2	164 cm	Tidak Putus
4	Rata-rata	164 cm	

Dibuatkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
Ir. Berlian Kurniati, M.Eng., IDWT-ASEAN Eng.
NIK : 61 511 0107

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti
Dony Prasetya
NIM : 20 511 211



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 6 Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam TCE

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4 / TCE

RUJUKAN : AASHTO T - 44 - 70 ; ASTM D - 165 - 42

- 1 Sumber Material : Pertamina
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
- 3 Diuji Pada : 2024

Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan	
			Waktu	Suhu
1	Persiapan	Mulai	13.20 WIB	28 °C
		Selesai	13.30 WIB	28 °C
2	Penimbangan	Mulai	13.30 WIB	28 °C
3	Pelarutan	Mulai	13.40 WIB	28 °C
4	Penyaringan	Mulai	13.45 WIB	28 °C
		Selesai	14.15 WIB	28 °C
5	Di Oven	Mulai	14.15 WIB	130 °C
6	Peminbangan	Mulai	14.30 WIB	28 °C

Hasil pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Benda Uji		Keterangan
		1	2	
1	Berat erlen meyer kosong	58,580 gr	56,110 gr	
2	Berat erlen meyer kosong + Aspal	60,110 gr	57,530 gr	
3	Berat Aspal (2 - 1)	1,530 gr	1,420 gr	
4	Berat kertas saring bersih	0,540 gr	0,550 gr	
5	Berat kertas saring bersih + mineral	0,550 gr	0,560 gr	
6	Berat mineral (5 - 4)	0,010 gr	0,010 gr	
7	Prosentase mineral (6/3x100%)	0,654 %	0,704 %	
8	Aspal yang larut (100% - 7)	99,346 %	99,296 %	
9	Rata-rata Aspal yang larut (%)	99,321 %		



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

Yogyakarta, 2024
Peneliti
Dony Prasetya
NIM : 20 511 211



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kallurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 7 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

RUJUKAN : SNI 03-1969-2008

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : 2024

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	1629,10	1631,25	1630,18
2	Berat benda uji dalam Air (BA) gr	1000,40	1000,49	1000,45
3	Berat benda uji dkering oven (BK) gr	1597,78	1599,89	1598,84
4	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(BJ - BA)}$	2,541	2,536	2,539
5	Berat jenis (SSD) = $\frac{BJ}{(BJ - BA)}$	2,591	2,586	2,589
6	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(BK - BA)}$	2,675	2,669	2,672
7	Penyerapan air = $\frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\%$	1,960	1,960	1,960
8	Berat Jenis Efektif = $(BJ \text{ Bulk} + BJ \text{ Semu})/2$	2,608	2,603	2,605

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Baiduri Kusuma M.Eng. IPM, ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024

Peneliti
Dony Prasetya
NIM : 20 511 211



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uui.ac.id

Lampiran 8 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : 2024

Persiapan pemeriksaan

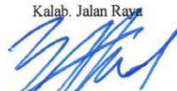
No	Pemeriksaan	Suhu	Waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda Uji			
	Mulai	25 ⁰ C	08.00 WIB	
	Selesai	150 ⁰ C	08.15 WIB	
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang			
	Mulai	150 ⁰ C	08.15 WIB	
	Selesai	25 ⁰ C	09.45 WIB	
3	Perendaman benda uji			
	Mulai	25 ⁰ C	09.45 WIB	
	Selesai	25 ⁰ C	10.15 WIB	

Hasil pemeriksaan

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	99%	
2	Sampel 2	97%	
	Rata-rata	98%	

Disahkan Oleh
Manajemen Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kusnan, M.Eng, I.P.M., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024

Peneliti
Dony Prasetya
NIM : 20 511 211



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 9 Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT KASAR

AASHTO T 96 - 77 ; SNI 2417 : 2008

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
2 Jenis Material : Agregat Kasar
3 Diuji Pada : 2024

No	Jenis Gradasi		B		Keterangan
	Saringan		Benda Uji (gram)		
	Lolos	Tertahan	1	2	
1	72.2 mm (3")	63.5 mm (2.5")			
2	63.5 mm (2.5")	50.8 mm (2")			
3	50.8 mm (2")	37.5 mm (1.5")			
4	37.5 mm (1.5")	25.4 mm (1")			
5	25.4 mm (1")	19.0 mm (3/4")			
6	19.0 mm (3/4")	12.5 mm (0.5")	2500,00		
7	12.5 mm (0.5")	09.5 mm (3/8")	2500,00		
8	09.5 mm (3/8")	06.3 mm (1/4")			
9	06.3 mm (1/4")	04.75 mm (4")			
10	04.75 mm (No.4)	02.36 mm (No.8)			
11	JUMLAH BENDA UJI (A)		5000,00	4595,00	
12	JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE 12(B)		4595,00	3649,00	
13	KEAUSAN $100x = \frac{(A - B)}{A} \times 100\%$		8,100	20,588	
17	Rata-rata Keausan (%)		14,34		

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
Ir. Berlian Kusnanti, M.Eng., P.M., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti
Dony Prasetya
NIM : 20 511 211



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 10 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

RUJUKAN : SNI 1970 - 2008

- 1 Sumber Material : Ciereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : 2024

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	500,00	500,00	
2	Berat Vicnometer + Air (B) gr	704,53	693,30	
3	Berat Vicnometer + Air + benda uji (BT) gr	1020,73	1007,28	
4	Berat benda uji kering oven (BK)	492,46	493,55	
5	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(B + 500) - BT}$	2,679	2,653	2,666
6	Berat jenis (SSD) = $\frac{500}{(B + 500) - BT}$	2,720	2,688	2,704
7	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B + BK) - BT}$	2,794	2,749	2,771
8	Penyerapan air = $\frac{(500 - BK)}{BK} \times 100\%$	1,531	1,307	1,419
9	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,737	2,701	2,719



Mengetahui
Kalah, Jalan Raya

Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21.511.1307

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Dony Prasetya
NIM : 20.511.211



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uui.ac.id

Lampiran 11 Pemeriksaan Sand Equivalent

PEMERIKSAAN SAND EQUIVALENT

RUJUKAN : SNI 3423-2008

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
2 Jenis Material : Agregat Halus
3 Diuji Pada : 2024

No.	Keterangan		Benda uji		Rata-rata
			1	2	
1	Persiapan, dan perendaman benda uji dalam larutan CaCl_2 selama (± 10.1 menit).	Mulai	15.40	15.40	
		Selesai	15.50	15.50	
2	Waktu pengendapan (benda uji setelah digojok sebanyak 90x, dan di tambah larutan CaCl_2)	Mulai	15.55	15.55	
		Selesai	16.15	16.15	
4	Clay reading (Pembacaan Lumpur)	Inchi	4,42	4,52	4,47
5	Sand reading (Pembacaan Pasir)		4,10	4,20	4,15
6	$\text{Sand Equivalent} = \frac{\text{Sand Reading}}{\text{Clay Reading}} \times 100 \%$		92,76	92,92	92,84
7	Kandungan Lumpur = $100 - \text{SE}$		7,24	7,08	7,16

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berliana Kusuma, M.Eng., PPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Dony Prasetya
NIM : 20 511 211

Lampiran 12 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler Debu*

PEMERIKSAAN BERAT JENIS *FILLER DEBU*

RUJUKAN : SNI 2441-2011

- 1 Jenis Material : *Filler* Abu Batu
- 2 Sumber Material : Clereng
- 3 Diuji Pada : 2024

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat Vicnometer Kosong gr	20,45	23,81	
2	Berat Vicnometer + Air gr	42,87	46,97	
3	Berat Vicnometer (2-1) gr	22,42	23,16	
4	Berat Vicnometer + <i>Filler</i> gr	28,54	30,29	
5	Berat <i>Filler</i> (4-1) gr	8,090	6,480	7,29
6	Berat Vicnometer + <i>Filler</i> + Aquadest gr	47,800	50,910	49,36
7	Berat Aquadest (6-4) gr	19,260	20,620	19,94
8	Volume <i>Filler</i> (3-7) gr	3,160	2,540	2,85
9	Berat Jenis <i>Filler</i> = Berat/Vol (5/8)	2,560	2,551	2,556

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Dony Prasetya
NIM : 20 511 211



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 13 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler Fly Ash* Batu Bara

PEMERIKSAAN BERAT JENIS *FILLER FLY ASH* BATU BARA

RUJUKAN : SNI 2441-2011

- 1 Jenis Material : *Filler Fly Ash* Batu Bara
- 2 Sumber Material : Clereng
- 3 Diuji Pada : 2024

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat Vicnometer Kosong gr	23,54	24,10	
2	Berat Vicnometer + Air gr	46,85	47,27	
3	Berat Vicnometer (2-1) gr	23,31	23,17	
4	Berat Vicnometer + <i>Filler</i> gr	32,78	33,01	
5	Berat <i>Filler</i> (4-1) gr	9,240	8,910	9,08
6	Berat Vicnometer + <i>Filler</i> + Aquadest gr	50,940	51,110	51,03
7	Berat Aquadest (6-4) gr	18,160	18,100	18,13
8	Volume <i>Filler</i> (3-7) gr	5,150	5,070	5,11
9	Berat Jenis <i>Filler</i> = Berat/Vol (5/8)	1,794	1,757	1,776

Disahkan Oleh
Ketua Jurusan Teknik Sipil
DAN PENYUSUN
Muhammad Nur Hafid, S.T., M.T., ASEAN Eng.
NIK : 21 511 0101

Mengetahui
Ketua Jurusan
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024
Peneliti
Dony Prasetya
NIM : 20 511 211



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung IRI, Moh. Nuzair
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 89444 ext 3300, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.fsp@uii.ac.id
W. fsp@uii.ac.id

Lampiran 14. HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN KAO PADA PENGGUNAAN ASPAL PEN 60/70

HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN KAO PADA PENGGUNAAN ASPAL PEN 60/70

Tanggal Pengujian : November 2024
Tipe Campuran : Stone Matrix Asphalt

Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g	h	i	j	k	l %MA (%)	m 1/100 (%)	n	o	p	q Kerakasi Tebal	q Stuk (kg)	r Flow (mm)
5%	71.94	5.26	5.00	1165.29	1170.61	658.28	512.33	2.274	2.379	10.935	84.690	4.375	15.31	4.38	52	52	998.62	0.8233	822.11	2.50
5%	71.11	5.26	5.00	1170.45	1179.97	659.65	520.32	2.249	2.379	10.815	83.759	5.827	16.24	5.43	54	54	1037.03	0.8416	872.76	2.60
5%	70.03	5.26	5.00	1178.70	1193.81	662.91	530.90	2.220	2.379	10.674	82.668	6.658	17.33	6.66	55	55	1056.23	0.8848	934.55	2.70
5.5%	70.21	5.82	5.50	1190.14	1197.20	673.87	523.33	2.274	2.363	12.027	84.232	3.741	15.77	5.49	50	50	980.21	0.8776	842.68	2.60
5.5%	71.50	5.82	5.50	1198.80	1208.26	673.54	534.72	2.242	2.363	11.856	83.038	5.106	16.96	5.11	56	56	1075.44	0.8298	891.27	2.55
5.5%	69.92	5.82	5.50	1195.56	1211.60	675.19	540.41	2.220	2.363	11.739	82.215	6.046	17.78	6.05	55	55	1056.23	0.8892	939.20	2.70
6%	71.62	6.38	6.00	1182.99	1196.38	670.45	525.93	2.249	2.347	12.977	82.871	4.152	17.13	4.15	54	54	1037.03	0.8273	857.88	3.10
6%	72.66	6.38	6.00	1189.25	1199.47	669.89	529.58	2.246	2.347	12.956	82.736	4.369	17.26	4.31	57	57	1094.64	0.8143	891.31	3.15
6%	70.12	6.38	6.00	1188.29	1197.51	666.47	531.05	2.238	2.347	12.909	82.440	4.651	17.56	4.65	60	60	1152.25	0.8812	1015.36	3.25
6.5%	71.07	6.95	6.50	1160.15	1178.28	657.75	520.53	2.229	2.331	13.940	81.678	4.392	18.32	4.37	57	57	1094.64	0.843	921.00	3.45
6.5%	71.18	6.95	6.50	1184.00	1196.94	665.23	531.71	2.227	2.331	13.917	81.604	4.479	18.40	4.48	57	57	1094.64	0.839	918.18	3.25
6.5%	70.82	6.95	6.50	1187.22	1200.28	671.98	528.30	2.247	2.331	14.045	82.354	3.601	17.65	3.60	61	61	1171.46	0.853	999.49	3.25
7%	73.28	7.53	7.00	1177.99	1196.87	665.41	531.46	2.217	2.316	14.919	80.294	4.288	19.21	4.29	56	56	1075.44	0.8048	865.46	3.45
7%	70.35	7.53	7.00	1178.19	1190.67	658.12	532.55	2.232	2.316	14.891	80.642	4.467	19.36	4.47	55	55	1056.23	0.8720	921.03	3.50
7%	70.22	7.53	7.00	1168.39	1179.11	657.39	531.72	2.239	2.316	15.074	81.031	3.295	18.37	3.30	53	53	1017.82	0.8772	892.83	3.35
								2.223					18.98	4.02	402				893.11	3.43

Disahkan Oleh
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Dan Perencanaan

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Dan Perencanaan

Yogyakarta, 2024
Peneliti

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

Danu Prasetya
NIM : 20 511 211



Lampiran 15. HASIL PENGUJIAN VCA UNTUK MENENTUKAN KAO PADA PENGUNAIAN ASPAL PEN 60/70

PENGUNAIAN VCA

Kadar Aspal	Benda Uji	Berat (gram)		Volume Silinder (cm ³)	V _s (gram/cm ³)	G _{ca} (gram/cm ³)	VCA _{unc} (%)	Gmb	GCA (%)	VCAMIX (%)	VCAMIX /VCA _{DR} C	Spesifikasi
		Wadah + Camp. Agg kasar	Wadah + Air									
5,00%	1	992	3424	1178,1	1,618	0,9975	2,55	36,446	2,27	2,55	76	32,24818
	2	975	3424	1178,1	1,637	0,9975	2,55	35,672	2,25	2,55	76	32,99317
	3	978	3424	1178,1	1,679	0,9975	2,55	34,011	2,22	2,55	76	33,86562
												33,03565
Rata-Rata												35,376
5,50%	1	976	3424	1178,1	1,626	0,9975	2,55	36,103	2,27	2,55	76	32,25782
	2	987	3424	1178,1	1,673	0,9975	2,55	34,270	2,24	2,55	76	33,21856
	3	989	3424	1178,1	1,673	0,9975	2,55	34,044	2,22	2,55	76	33,87962
												33,1186
Rata-Rata												34,806
6,00%	1	964	3424	1178,1	1,657	0,9975	2,55	34,888	2,25	2,55	76	32,99768
	2	978	3424	1178,1	1,678	0,9975	2,55	34,082	2,25	2,55	76	33,10736
	3	937	3424	1178,1	1,653	0,9975	2,55	35,752	2,24	2,55	76	33,34638
												33,15047
Rata-Rata												33,15047
6,50%	1	988	3424	1178,1	1,672	0,9975	2,55	34,798	2,23	2,55	76	33,610
	2	955	3424	1178,1	1,664	0,9975	2,55	34,633	2,23	2,55	76	33,669
	3	938	3424	1178,1	1,656	0,9975	2,55	35,709	2,25	2,55	76	33,060
												33,44627
Rata-Rata												33,44627
7,00%	1	988	3424	1178,1	1,674	0,9975	2,55	34,728	2,22	2,55	76	33,9751
	2	959	3424	1178,1	1,650	0,9975	2,55	35,175	2,21	2,55	76	34,09005
	3	932	3424	1178,1	1,650	0,9975	2,55	35,964	2,24	2,55	76	33,29059
												33,78825
Rata-Rata												35,122

Dibuatkan Oleh
M. Berhan Kuchari, M.Eng. IPM, ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti
Dony Prasetya
NIM : 20 511 211



Lampiran 16. HASIL PENGUJIAN IRS UNTUK MENENTUKAN KAO PADA PENGGUNAAN ASPAL PEN 60/70

PENGUJIAN IRS

Persen Aspal	Tebal Sampel (mm)		koreksi	Arloji Stability			Flow (mm)		Stability (kg)		Angka Koreksi			
				Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	awal	rata2	Tebal Sampel		Koreksi	
											MIN	MAX	MIN	MAX
5,0%	1	71,56	0,83	49	19,20	941,01	240		779,15		71,4	73	0,83	0,81
	2	70,48	0,87	49	19,20	941,01	250	2,47	815,66	790,79	69,9	71,4	0,89	0,83
	3	74,71	0,78	52	19,20	998,62	250		777,55		74,6	76,2	0,78	0,76
5,5%	1	69,84	0,89	49	19,20	941,01	380		837,50		68,3	69,9	0,89	0,89
	2	68,09	0,90	48	19,20	921,80	390	3,87	825,24	810,71	66,7	68,3	0,93	0,89
	3	72,39	0,82	49	19,20	941,01	390		769,39		71,4	73	0,83	0,81
6,0%	1	73,42	0,80	53	19,20	1017,82	425		816,42		73	74,6	0,81	0,78
	2	71,50	0,83	55	19,20	1056,23	410	4,22	875,35	842,51	71,4	73	0,83	0,81
	3	72,11	0,82	53	19,20	1017,82	430		835,76		71,4	73	0,83	0,81
6,5%	1	69,92	0,89	55	19,20	1056,23	250		939,20		69,9	71,4	0,89	0,83
	2	72,02	0,82	51	19,20	979,41	240	2,50	805,32	876,17	71,4	73	0,83	0,81
	3	70,02	0,89	52	19,20	998,62	260		883,98		69,9	71,4	0,89	0,83
7,0%	1	70,12	0,88	50	19,20	960,21	460		846,14		69,9	71,4	0,89	0,83
	2	69,96	0,89	51	19,20	979,41	465	4,65	869,33	844,36	69,9	71,4	0,89	0,83
	3	72,30	0,82	52	19,20	998,62	470		817,62		71,4	73	0,83	0,81

Disahkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

FAKULTAS TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Yogyakarta, 2024

Peneliti

Dony Prasetya
NIM : 20 511 211

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



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 17. HASIL PENGUJIAN *DRAINDOWN* UNTUK MENENTUKAN KAO PADA PENGGUNAAN ASPAL PEN 60/70

PENGUJIAN *DRAINDOWN* UNTUK KAO

Kadar Aspal (%)	No.	Keterangan	Benda Uji		
			1	2	3
5,0%	1	Berat Piring + Benda Uji	1530,14	1537,21	1532,55
	2	Berat Benda Uji	1184,13	1192,13	1185,54
	3	Berat Awal Piring Penampung	346,01	345,08	347,01
	4	Berat Akhir Piring Penampung	346,79	345,81	348,02
	5	Draindown	0,066%	0,06%	0,09%
	6	Rata-Rata Draindown	0,07		
5,5%	1	Berat Piring + Benda Uji	1535,56	1536,47	1533,87
	2	Berat Benda Uji	1190,28	1191,32	1187,82
	3	Berat Awal Piring Penampung	345,28	345,15	346,05
	4	Berat Akhir Piring Penampung	346,55	346,02	347,18
	5	Draindown	0,107%	0,07%	0,10%
	6	Rata-Rata Draindown	0,092		
6,0%	1	Berat Piring + Benda Uji	1506,33	1508,22	1505,47
	2	Berat Benda Uji	1200,85	1202,95	1200,69
	3	Berat Awal Piring Penampung	305,48	305,27	304,78
	4	Berat Akhir Piring Penampung	306,91	306,96	306,03
	5	Draindown	0,12%	0,14%	0,10%
	6	Rata-Rata Draindown	0,121		
6,5%	1	Berat Piring + Benda Uji	1545,21	1544,18	1544,95
	2	Berat Benda Uji	1186,47	1185,74	1186,64
	3	Berat Awal Piring Penampung	358,74	358,44	358,31
	4	Berat Akhir Piring Penampung	360,39	360,35	360,38
	5	Draindown	0,14%	0,16%	0,17%
	6	Rata-Rata Draindown	0,158		
7,0%	1	Berat Piring + Benda Uji	1530,25	1529,15	1528,32
	2	Berat Benda Uji	1288,73	1284,64	1283,08
	3	Berat Awal Piring Penampung	241,52	244,51	245,24
	4	Berat Akhir Piring Penampung	244,09	247,02	247,87
	5	Draindown	0,20%	0,20%	0,20%
	6	Rata-Rata Draindown	0,200		

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil


Ir. Berlian Kusnadi, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya


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

Yogyakarta, 2024


Peneliti

Dony Prasetya
NIM : 20 511 211



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KRI, Moh. Hatta
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 894444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftg@uii.ac.id
W. ftg.uii.ac.id

Lampiran 19. HASIL PENGUJIAN MARSHALL PADA FILLER FLY ASH BATU BARA

HASIL PENGUJIAN MARSHALL PADA FILLER FLY ASH

Tanggal Pengujian : November 2024
Type Campuran : Stone Matrix Asphalt

Sampel	t (mm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g	h	i	j	k	l PMA (%)	m VFA (%)	n VFM (%)	o	p	q Korrelasi	r Stabilitas (kg)	s Flow (mm)	t H _Q (kg/mm)
5%	72,75	6,84	6,40	1182,54	1194,22	688,22	526,00	2,248	2,334	13,831	82,335	3,554	17,66	78,185	3,45	64	1229,07	0,8129	999,13	2,90	344,53
5%	71,98	6,84	6,40	1182,54	1194,22	688,22	526,00	2,248	2,334	13,831	82,335	3,554	17,66	78,185	3,45	64	1229,07	0,8129	999,13	2,90	344,53
5%	72,12	6,84	6,40	1182,54	1194,22	688,22	526,00	2,248	2,334	13,831	82,335	3,554	17,66	78,185	3,45	64	1229,07	0,8129	999,13	2,90	344,53
5,5%	70,85	6,84	6,40	1170,05	1186,01	668,15	517,86	2,248	2,334	13,831	82,335	3,554	17,66	78,185	3,45	64	1229,07	0,8129	999,13	2,90	344,53
5,5%	70,54	6,84	6,40	1185,90	1192,77	665,24	527,03	2,246	2,334	13,831	82,335	3,554	17,66	78,185	3,45	64	1229,07	0,8129	999,13	2,90	344,53
5,5%	69,32	6,84	6,40	1185,96	1195,52	663,17	532,35	2,238	2,334	13,709	81,728	4,562	18,27	75,030	4,56	56	1075,44	0,8900	957,14	2,90	330,05
6%	73,15	6,84	6,40	1177,35	1181,96	658,14	523,82	2,248	2,334	13,832	82,340	3,712	17,54	78,839	3,71	62	1190,66	0,8080	962,05	3,20	300,64
6%	73,28	6,84	6,40	1173,02	1184,68	658,07	526,61	2,227	2,334	13,708	81,718	4,775	18,28	74,977	4,57	61	1171,46	0,7959	952,38	3,25	286,89
6%	71,83	6,84	6,40	1162,19	1173,38	652,91	520,47	2,233	2,334	13,741	81,918	4,340	18,08	75,995	4,34	63	1209,86	0,8283	1002,12	3,15	318,13
6,5%	70,25	6,84	6,40	1168,38	1173,77	652,65	521,12	2,242	2,334	13,797	82,352	3,951	17,97	76,60	4,21	57	1094,64	0,868	949,86	3,25	292,831
6,5%	70,32	6,84	6,40	1161,91	1174,05	657,39	516,66	2,249	2,334	13,839	82,302	3,658	17,50	79,093	3,66	60	1152,25	0,870	1002,77	3,5	286,5047
6,5%	72,43	6,84	6,40	1167,82	1177,09	647,53	529,56	2,205	2,334	13,571	80,902	5,327	19,10	71,059	5,53	58	1113,84	0,817	910,20	3,2	284,4562
7%	72,15	6,84	6,40	1161,79	1171,56	659,54	512,02	2,269	2,334	13,963	83,241	2,795	18,11	75,96	4,38	58	1113,84	0,8185	911,73	3,25	285,52
7%	72,87	6,84	6,40	1160,88	1176,87	649,76	527,11	2,202	2,334	13,553	80,795	5,652	19,20	70,570	5,65	60	1152,25	0,8138	957,69	3,40	295,79
7%	70,79	6,84	6,40	1168,78	1183,04	654,89	528,15	2,213	2,334	13,618	81,185	5,197	18,82	72,379	5,20	59	1135,05	0,8681	983,64	3,60	273,33
								2,228					18,26	75,42	4,55				944,35	3,42	276,52



Mengetahui
Ketua Jurusan

Sholihah Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 7907

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Dewi Prasetya
NIK : 20 511 211



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Ihsan
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kalitirto km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.fsp@uii.ac.id
W. fsp.uii.ac.id

Lampiran 20. HASIL PENGUJIAN ITS PADA FILLER FLY ASH BATU BARA

HASIL PENGUJIAN ITS

Kadar Aspal	Substitusi	Tebal Sampel (mm)					Diameter Sampel (inch)					AO	Aksi Stabilitas			Stabilitas (kg)				Angka Koreksi Tebal				Angka Koreksi Diameter				ITS 0 JAM kpa awal akhir	
		koreksi					rata2						Mean	Kalibrasi	Adjust	rata2		MIN		MAX		MIN		MAX					
		1	2	3	3	5	1	2	3	3	5					awal	akhir	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX				
0,0%	1	73,46	73,95	74,40	74,60	0,80	3,99	3,99	3,98	3,99	0,16	55	19,89	1093,69	396,23	73	74,6	0,81	0,78	3,9	4	0,164	0,156	829,18	829,18				
	2	69,01	68,77	70,25	69,34	0,89	3,98	4,08	4,05	4,04	0,16	52	19,89	1094,03	417,44	68,3	69,9	0,89	0,89	4	4,1	0,16	0,152	925,67	898,46				
	3	69,92	70,01	70,21	70,05	0,88	3,99	4,00	4,00	4,00	0,16	54	19,89	1073,80	430,64	69,9	71,4	0,89	0,83	3,9	4	0,154	0,156	940,53	940,53				
25,0%	1	72,31	72,15	72,49	72,32	0,82	3,98	3,99	3,97	3,98	0,16	53	19,89	1053,52	391,31	71,4	73	0,83	0,81	3,9	4	0,16	0,156	832,05	832,05				
	2	70,63	70,20	70,73	70,52	0,87	3,97	3,96	3,98	3,97	0,16	52	19,89	1034,03	400,81	69,9	71,4	0,89	0,83	3,9	4	0,16	0,156	887,12	836,37				
	3	71,23	71,42	71,35	71,33	0,83	4,01	3,99	3,99	4,00	0,16	49	19,89	974,37	388,02	69,9	71,4	0,89	0,83	3,9	4	0,16	0,156	789,94	789,94				
50,0%	1	71,05	71,81	71,15	71,34	0,83	3,90	3,96	3,97	3,94	0,16	50	19,89	994,26	375,47	69,9	71,4	0,89	0,83	3,9	4	0,16	0,156	816,91	816,91				
	2	70,69	71,83	72,40	71,64	0,84	4,00	4,01	3,99	4,00	0,16	49	19,89	974,37	369,27	68,3	74,6	0,81	0,78	3,9	4	0,16	0,155	788,56	804,39				
	3	69,59	66,32	69,87	69,59	0,89	3,91	3,94	3,95	3,93	0,16	45	19,89	894,83	361,25	68,3	69,9	0,89	0,89	3,9	4	0,16	0,155	807,69	807,69				
75,0%	1	70,25	66,35	69,37	69,66	0,89	4,04	4,05	4,04	4,04	0,15	43	19,89	855,06	345,19	68,3	69,9	0,89	0,89	4	4,1	0,154	0,152	749,71	749,71				
	2	70,91	71,82	71,50	71,41	0,83	4,00	4,00	4,00	4,00	0,16	50	19,89	994,26	374,27	71,4	73	0,83	0,81	3,9	4	0,16	0,156	801,81	778,15				
	3	70,23	70,56	70,46	70,42	0,87	4,01	4,00	4,00	4,00	0,16	46	19,89	914,72	360,70	69,9	71,4	0,89	0,83	3,9	4	0,16	0,156	782,97	782,97				
100,0%	1	70,32	70,87	69,23	70,14	0,88	4,02	3,98	4,01	4,00	0,16	45	19,89	894,83	357,35	71,4	73	0,83	0,81	3,9	4	0,16	0,156	770,76	770,76				
	2	71,77	71,21	71,92	71,63	0,83	3,93	4,00	3,98	3,97	0,16	43	19,89	855,06	320,79	68,3	69,9	0,89	0,89	3,9	4	0,16	0,156	690,37	726,52				
	3	69,86	69,23	69,06	69,38	0,89	3,98	3,99	3,99	3,99	0,16	40	19,89	795,41	321,11	68,3	69,9	0,89	0,89	3,9	4	0,16	0,156	710,44	710,44				

Disahkan Oleh
Ketua Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Mengetahui
Ketua Jalan Raya

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Dony Prasetya
NIM : 20 511 211

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



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Idris
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 896444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftpi@uii.ac.id
W. ftpi.uui.ac.id

Lampiran 21. HASIL PENGUJIAN TSR PADA FILLER FLY ASH BATU BARA

HASIL PENGUJIAN TSR

Kadar Aspal	Substitusi	Tebal Sampel (mm)			koreksi	Diameter Sampel (inch)			A0	Aloi Stability			Stability (kg)			Angka Koreksi			Angka Koreksi			ITS 24 JAM			
		rata2				rata2				rata2			rata2			rata2			rata2						
		1	2	3	rata2	1	2	3	rata2	Mean	Korelasi	Adjast	Mean	Max	Min	Koreksi	Max	Min	Koreksi	Max	Min	Koreksi	Max	Min	Koreksi
6,4%	0,6%	1	72,80	73,15	72,46	72,80	0,81	3,97	3,97	4,03	3,99	0,156	55	19,89	109,69	403,06	71,4	73	0,83	0,81	3,9	4	0,1600	0,1560	848,13
		2	71,17	71,22	71,44	71,28	0,83	4,01	4,01	3,96	3,99	0,16	52	19,89	109,69	390,02	71,4	73	0,83	0,81	3,9	4	0,16	0,156	838,91
		3	72,12	72,55	72,31	72,33	0,82	4,00	4,00	4,00	4,00	0,16	51	19,89	109,69	376,48	71,4	73	0,83	0,81	3,9	4	0,15	0,156	798,33
	25,0%	1	72,20	72,61	72,16	72,33	0,82	4,05	4,02	4,06	4,04	0,154	51	19,89	109,69	376,50	71,4	73	0,83	0,81	4	4,1	0,156	0,152	787,56
		2	74,58	73,92	74,53	74,34	0,78	4,01	4,01	4,01	4,01	0,156	49	19,89	974,37	346,87	71,4	73	0,83	0,81	4	4,1	0,156	0,152	712,26
		3	73,02	73,42	73,65	73,03	0,81	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	48	19,89	954,69	350,53	71,4	73	0,83	0,81	3,9	4	0,160	0,156	734,30
	50,0%	1	72,34	71,60	72,13	72,02	0,82	4,07	4,05	4,04	4,05	0,15	46	19,89	914,72	341,15	71,4	73	0,83	0,81	4	4,1	0,156	0,152	714,72
		2	72,65	72,17	72,33	72,38	0,82	4,01	4,00	3,90	3,97	0,16	47	19,89	934,60	346,66	71,4	73	0,83	0,81	3,9	4	0,16	0,156	738,30
		3	72,32	72,35	71,87	72,18	0,82	4,00	4,00	3,95	3,98	0,16	43	19,89	855,06	318,14	71,4	73	0,83	0,81	3,9	4	0,16	0,156	677,17
	75,0%	1	68,80	68,90	68,58	68,76	0,89	4,08	4,12	4,08	4,09	0,15	41	19,89	815,25	323,14	68,3	69,9	0,89	0,89	4	4,1	0,156	0,152	714,77
		2	69,60	69,76	70,52	69,96	0,89	4,05	4,02	4,00	4,02	0,16	39	19,89	775,52	312,24	68,3	69,9	0,89	0,83	4	4,1	0,156	0,152	678,69
		3	70,61	70,29	69,76	70,22	0,88	4,00	4,00	4,01	4,00	0,16	37	19,89	735,75	292,75	69,9	71,4	0,89	0,83	3,9	4	0,16	0,156	637,26
	100,0%	1	69,48	69,55	70,05	69,69	0,89	4,01	4,01	4,00	4,01	0,16	37	19,89	735,75	292,75	68,3	69,9	0,89	0,89	4	4,1	0,156	0,152	650,89
		2	71,34	72,19	71,69	71,74	0,83	4,00	4,00	3,90	3,97	0,16	38	19,89	755,64	283,03	69,9	71,4	0,89	0,81	3,9	4	0,16	0,156	698,72
		3	70,76	70,19	70,66	70,54	0,86	4,00	4,01	4,01	4,01	0,16	37	19,89	735,75	288,53	69,9	71,4	0,89	0,83	4	4,1	0,156	0,152	634,17

Disahkan Oleh
Mentori Laboratorium Jurusan Teknik Sipil



Yogyakarta, 2024

Pencatatan

Mengetahui
Kalah, Jalan Raya

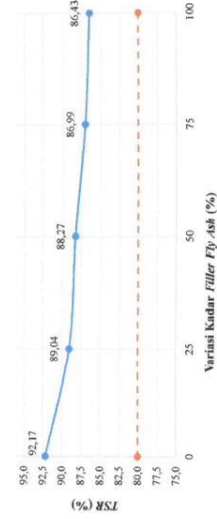
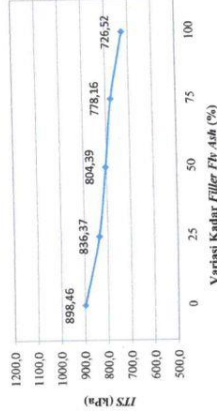
Dona Prasetya
NIM : 20 511 211

Mengetahui
Mentori Abdul Hadi, ST, MT
NIK : 21 511 1307

Lampiran 22. REKAP ITS DAN TSR PADA FILLER FLY-ASH BATU BARA

HASIL PENGUJIAN ITS DAN TSR

Variasi Substitusi (%)	KAO (%)	ITS (kPa)	ITS 24 Jam	TSR (%)
0	6,4	898,46	828,12	92,17
25		836,37	744,71	89,04
50		804,39	710,06	88,27
75		778,16	676,91	86,99
100		726,52	627,92	86,43



Disahkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Dony Prasetya
NIM : 20 511 211

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



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 23. HASIL PENGUJIAN CL PADA FILLER FLY ASH BATU BARA

HASIL PENGUJIAN CANTABRO LOSS

Substitusi	No.	Keterangan			
			1	2	3
0%	1	Berat Sebelum Abrasi	1136,11	1152,86	1164,78
	2	Berat Sesudah Abrasi	1057,30	1087,94	1104,65
	3	Persentase Kehilangan Berat	6,94	5,63	5,16
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		5,91	
25%	1	Berat Sebelum Abrasi	1184,88	1048,53	1180,34
	2	Berat Sesudah Abrasi	1135,47	980,85	1012,76
	3	Persentase Kehilangan Berat	4,17	6,45	14,20
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		8,27	
50%	1	Berat Sebelum Abrasi	1116,75	1114,11	1161,87
	2	Berat Sesudah Abrasi	1068,58	960,94	1046,11
	3	Persentase Kehilangan Berat	4,31	13,75	9,96
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		9,34	
75%	1	Berat Sebelum Abrasi	1131,71	1158,98	1158,29
	2	Berat Sesudah Abrasi	1109,38	1000,64	987,32
	3	Persentase Kehilangan Berat	1,97	13,66	14,76
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		10,13	
100%	1	Berat Sebelum Abrasi	1118,23	1122,45	1122,43
	2	Berat Sesudah Abrasi	990,89	1001,22	996,19
	3	Persentase Kehilangan Berat	11,39	10,80	11,25
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		11,15	

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

H. Burhan Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024

Peneliti
Dony Prasetya
NIM : 20 511 211



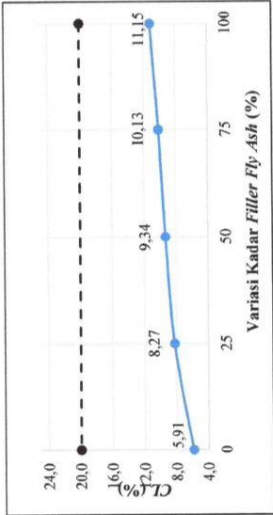
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. M. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kalurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 24. REKAP CL PADA FILLER FLY ASH BATU BARA

REKAPITULASI CANTABRO LOSS

Variasi Substitusi (%)	KAO (%)	CL
0	6,4	5,91
25		8,27
50		9,34
75		10,13
100		11,15



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil



Ir. Berlian Kuthari, M.Eng. IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya



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

Yogyakarta, 2024
Peneliti



Dony Prasetya
NIM : 20 511 211



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gelung Kiri, Moh. Nasir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kalirejo Km 14,5 Yogyakarta 55384
T. (0274) 89444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftpp@uii.ac.id
W. ftpp.uui.ac.id

Lampiran 26. HASIL PENGUJIAN IRS PADA FILLER FLY ASH BATU BARA

HASIL PENGUJIAN IRS SETELAH KAO

Kadar Filler	Tebal Sampel (mm)				Koreksi		Arloji Stability			Stability (kg)		Angka Koreksi			
					rata-rata	rata2				rata2	MIN	Tebal Sampel		Koreksi	
	1	2	3	4			Meas	Kalibrasi	Adjust			MIN	MAX	MIN	MAX
0,0%	1	70,95	70,35	69,01	70,10	0,88	59	19,20	1133,05	999,20	600	69,9	71,4	0,89	0,83
	2	71,75	71,07	71,93	71,58	0,83	59	19,20	1133,05	937,83	600	71,4	73	0,83	0,81
	3	71,21	71,56	71,06	71,28	0,83	60	19,20	1152,25	962,05	600	69,9	71,4	0,89	0,83
25,0%	1	69,19	70,10	70,23	69,84	0,89	60	19,20	1152,25	1025,50	600	68,3	69,9	0,89	0,89
	2	71,71	71,75	71,40	71,62	0,83	58	19,20	1113,84	921,43	600	71,4	73	0,83	0,81
	3	71,25	71,47	71,54	71,42	0,83	56	19,20	1075,44	892,34	600	71,4	73	0,83	0,81
50,0%	1	72,57	72,55	72,08	72,40	0,82	60	19,20	1152,25	941,97	600	71,4	73	0,83	0,81
	2	71,24	71,81	72,76	71,94	0,82	59	19,20	1133,05	932,83	600	71,4	73	0,83	0,81
	3	72,46	71,62	72,31	72,13	0,82	58	19,20	1113,84	914,33	600	71,4	73	0,83	0,81
75,0%	1	70,55	70,63	70,83	70,67	0,86	56	19,20	1075,44	974,01	600	69,9	71,4	0,89	0,83
	2	71,30	71,19	70,62	71,04	0,84	58	19,20	1113,84	940,68	600	69,9	71,4	0,89	0,83
	3	72,76	72,51	72,54	72,60	0,81	55	19,20	1056,23	860,78	600	71,4	73	0,83	0,81
100,0%	1	71,23	71,51	71,77	71,50	0,83	56	19,20	1075,44	891,22	600	71,4	73	0,83	0,81
	2	72,64	72,32	71,34	72,10	0,82	55	19,20	1056,23	867,43	600	71,4	73	0,83	0,81
	3	71,12	71,67	71,47	71,42	0,83	57	19,20	1094,64	908,28	600	71,4	73	0,83	0,81

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil



Mengetahui
Kalah, Jalan Raya



Yogyakarta, 2024
Pencili



Donu Prasetya
NIM : 20 511 211



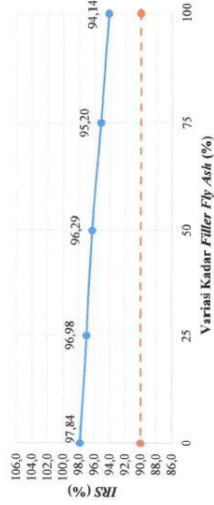
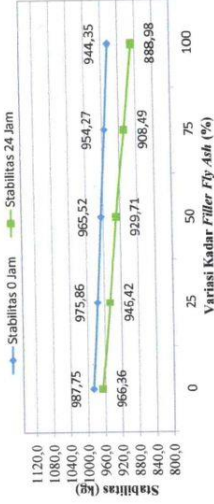
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext. 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.fkip@uii.ac.id
W. fkip.uii.ac.id

Lampiran 27. REKAP IRS PADA FILLER FLY ASH BATU BARA

HASIL PENGUJIAN IRS SETELAH KAO

Variasi Substitusi (%)	KAO (%)	Stabilitas 0 Jam	Stabilitas 24 Jam	IRS
0	6,4	987,75	966,36	97,84
25		975,86	946,42	96,98
50		965,52	929,71	96,29
75		954,27	908,49	95,20
100		944,35	888,98	94,14



Disahkan Oleh
Kepala Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kusnandar, M.Eng., Ph.D., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

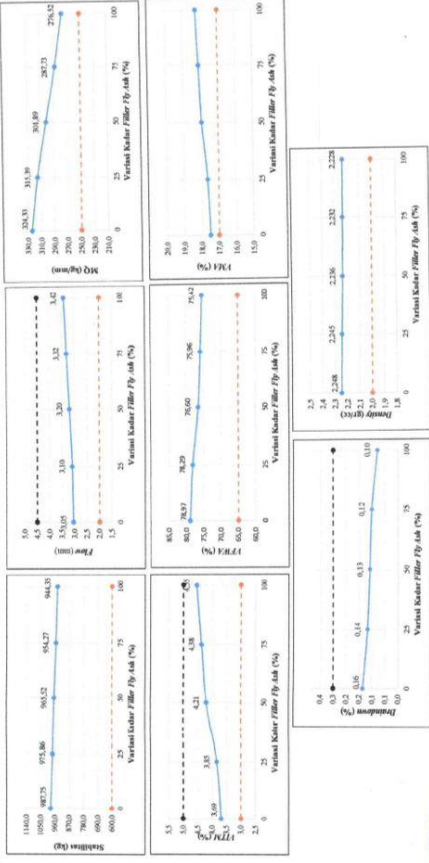
Yogyakarta, 2024

Dony Prasetya
NIM : 20 511 211

Lampiran 26. REKAPITULASI HASIL PENGUJIAN MARSHALL DAN DRANDOWN

REKAPITULASI MARSHALL DAN DRANDOWN

Kadar Filter (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VTM (%)	VPBA (%)	MO (mm)	PMA (%)	Densitas (kg/m ³)
0	987,25	3,05	3,69	78,59	31,53	17,66	2,241
25	965,52	3,20	4,21	76,60	30,189	17,97	2,295
50	954,27	3,32	4,38	75,96	28,773	18,11	2,232
75	944,35	3,42	4,55	75,42	27,652	18,26	2,208
100	> 600	2-4,5	3-5	> 65	> 250	2-17	> 25



Disiapkan Oleh
Laboratorium Jurnes Teknik Sipil

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
DAN PERENCANAAN

Mengesah
Kuliah dan Riset

Yogyakarta, 2024
Pondok

Dan Praktek
NIM: 20511211

Tests of Normality

	VARIASI FILLER	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
STABILITAS	0%	.361	3	.	.806	3	.128
	25%	.227	3	.	.983	3	.748
	50%	.206	3	.	.993	3	.836
	75%	.205	3	.	.993	3	.843
	100%	.239	3	.	.975	3	.696
FLOW	0%	.314	3	.	.893	3	.363
	25%	.175	3	.	1.000	3	1.000
	50%	.175	3	.	1.000	3	1.000
	75%	.328	3	.	.871	3	.298
	100%	.204	3	.	.993	3	.843
VITM	0%	.177	3	.	1.000	3	.971
	25%	.213	3	.	.990	3	.807
	50%	.282	3	.	.935	3	.508
	75%	.331	3	.	.864	3	.279
	100%	.330	3	.	.866	3	.284
VFWA	0%	.177	3	.	1.000	3	.962
	25%	.205	3	.	.993	3	.842
	50%	.286	3	.	.931	3	.491
	75%	.327	3	.	.872	3	.302
	100%	.337	3	.	.854	3	.251
VMA	0%	.177	3	.	1.000	3	.971
	25%	.213	3	.	.990	3	.807
	50%	.282	3	.	.935	3	.508
	75%	.331	3	.	.864	3	.279
	100%	.330	3	.	.866	3	.284
DENSITY	0%	.176	3	.	1.000	3	.986
	25%	.213	3	.	.990	3	.805
	50%	.282	3	.	.936	3	.512
	75%	.332	3	.	.864	3	.278
	100%	.330	3	.	.867	3	.286
MQ	0%	.302	3	.	.910	3	.420
	25%	.212	3	.	.990	3	.810
	50%	.198	3	.	.995	3	.868
	75%	.286	3	.	.931	3	.492
	100%	.244	3	.	.971	3	.674

a. Lilliefors Significance Correction

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
STABILITAS	Between Groups	3526.334	4	881.584	.783	.561
	Within Groups	11252.024	10	1125.202		
	Total	14778.358	14			
FLOW	Between Groups	.275	4	.069	2.946	.075
	Within Groups	.233	10	.023		
	Total	.508	14			
VITM	Between Groups	1.563	4	.391	.482	.749
	Within Groups	8.114	10	.811		
	Total	9.677	14			
VFWA	Between Groups	27.727	4	6.932	.431	.784
	Within Groups	160.935	10	16.094		
	Total	188.662	14			
VMA	Between Groups	1.146	4	.287	.482	.749
	Within Groups	5.950	10	.595		
	Total	7.097	14			
DENSITY	Between Groups	.001	4	.000	.482	.749
	Within Groups	.004	10	.000		
	Total	.005	14			
MQ	Between Groups	4581.389	4	1145.347	7.242	.005
	Within Groups	1581.508	10	158.151		
	Total	6162.897	14			

Tests of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
STABILITAS	Based on Mean	.557	4	10	.699
	Based on Median	.366	4	10	.827
	Based on Median and with adjusted df	.366	4	8.507	.827
	Based on trimmed mean	.545	4	10	.707
FLOW	Based on Mean	.857	4	10	.521
	Based on Median	.414	4	10	.795
	Based on Median and with adjusted df	.414	4	7.907	.794
	Based on trimmed mean	.824	4	10	.539
VITM	Based on Mean	4.165	4	10	.031
	Based on Median	.598	4	10	.672
	Based on Median and with adjusted df	.598	4	4.275	.683
	Based on trimmed mean	3.658	4	10	.044
VFWA	Based on Mean	4.126	4	10	.031
	Based on Median	.576	4	10	.687
	Based on Median and with adjusted df	.576	4	4.081	.697
	Based on trimmed mean	3.618	4	10	.045
VMA	Based on Mean	4.165	4	10	.031
	Based on Median	.598	4	10	.672
	Based on Median and with adjusted df	.598	4	4.275	.683
	Based on trimmed mean	3.658	4	10	.044
DENSITY	Based on Mean	4.166	4	10	.031
	Based on Median	.600	4	10	.671
	Based on Median and with adjusted df	.600	4	4.280	.682
	Based on trimmed mean	3.659	4	10	.044
MQ	Based on Mean	2.018	4	10	.168
	Based on Median	.808	4	10	.548
	Based on Median and with adjusted df	.808	4	5.409	.567
	Based on trimmed mean	1.919	4	10	.184

Tests of Normality

	VARIASI	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
TSR	0%	.252	3	.	.965	3	.642
	25%	.346	3	.	.837	3	.207
	50%	.233	3	.	.979	3	.722
	75%	.300	3	.	.913	3	.430
	100%	.363	3	.	.801	3	.118
ITS	0%	.340	3	.	.848	3	.235
	25%	.202	3	.	.994	3	.853
	50%	.257	3	.	.961	3	.620
	75%	.239	3	.	.975	3	.697
	100%	.302	3	.	.910	3	.417
IRS	0%	.229	3	.	.981	3	.739
	25%	.364	3	.	.800	3	.114
	50%	.295	3	.	.919	3	.449
	75%	.306	3	.	.905	3	.401
	100%	.375	3	.	.774	3	.053
CL	0%	.286	3	.	.931	3	.492
	25%	.302	3	.	.910	3	.418
	50%	.219	3	.	.987	3	.783
	75%	.357	3	.	.814	3	.148
	100%	.297	3	.	.917	3	.442
DRAINDOWN	0%	.280	3	.	.938	3	.520
	25%	.265	3	.	.953	3	.583
	50%	.282	3	.	.936	3	.510
	75%	.351	3	.	.828	3	.183
	100%	.356	3	.	.818	3	.157

a. Lilliefors Significance Correction

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
TSR	Between Groups	67.782	4	16.945	.373	.823
	Within Groups	454.773	10	45.477		
	Total	522.555	14			
ITS	Between Groups	49582.193	4	12395.548	6.824	.006
	Within Groups	18165.279	10	1816.528		
	Total	67747.472	14			
IRS	Between Groups	18.343	4	4.586	.235	.913
	Within Groups	195.502	10	19.550		
	Total	213.845	14			
CL	Between Groups	48.197	4	12.049	.595	.675
	Within Groups	202.659	10	20.266		
	Total	250.856	14			
DRAINDOWN	Between Groups	.000	4	.000	.131	.967
	Within Groups	.000	10	.000		
	Total	.000	14			

Tests of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
TSR	Based on Mean	1.396	4	10	.304
	Based on Median	.334	4	10	.849
	Based on Median and with adjusted df	.334	4	7.251	.847
	Based on trimmed mean	1.275	4	10	.343
ITS	Based on Mean	1.815	4	10	.203
	Based on Median	.381	4	10	.817
	Based on Median and with adjusted df	.381	4	5.497	.815
	Based on trimmed mean	1.653	4	10	.236
IRS	Based on Mean	2.921	4	10	.077
	Based on Median	.312	4	10	.864
	Based on Median and with adjusted df	.312	4	4.456	.858
	Based on trimmed mean	2.493	4	10	.110
CL	Based on Mean	4.627	4	10	.023
	Based on Median	.736	4	10	.588
	Based on Median and with adjusted df	.736	4	4.273	.611
	Based on trimmed mean	4.101	4	10	.032
DRAINDOWN	Based on Mean	.854	4	10	.523
	Based on Median	.126	4	10	.970
	Based on Median and with adjusted df	.126	4	7.071	.969
	Based on trimmed mean	.751	4	10	.579

