

TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN KINERJA *STONE MATRIX ASPHALT (SMA)* DENGAN METODE PENCAAMPURAN KONVENSIIONAL DAN METODE PENCAAMPURAN DUA TAHAP

COMPARISON OF ON PERFORMANCE *STONE MATRIX ASPHALT (SMA)* BY USING OF CONVENTIONAL MIXING METHODS AND TWO-STAGE MIXING METHODS

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



AHMAD FARHAN AWAL MAHZA

17511126

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2023**

TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN KINERJA *STONE MATRIX ASPHALT (SMA)* DENGAN
METODE PENCAMPURAN KONVENSIONAL DAN METODE
PENCAMPURAN DUA TAHAP**

***COMPARISON OF ON PERFORMANCE *STONE MATRIX ASPHALT (SMA)*
BY USING OF CONVENTIONAL MIXING METHODS AND TWO-STAGE
MIXING METHODS***

Disusun oleh

Ahmad Farhan Awal Mahza

17511126

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 24 Agustus 2023

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing I



Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.
NIK: 955110103

Penguji I



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

Penguji II




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

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil




Yunalia Mantafi, S.T., M.T., Ph.D.
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Proposal Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Proposal Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian Proposal Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 24 Agustus 2023

Yang menandatangani,



Ahmad Farnani Awal Mahza

(17511126)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir yang berjudul *Perbandingan Kinerja Stone Matrix Asphalt (SMA) dengan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap*. Proposal Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Dalam penyusunan Proposal Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Proposal Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Miftahul Fauziah ST., MT., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing yang memberikan arahan dan bimbingan hingga Proposal Tugas Akhir ini dapat terselesaikan,
2. Ibu Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji I Tugas Akhir atas saran dan nasihat yang diberikan kepada penulis,
3. Bapak Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II Tugas Akhir atas saran dan nasihat yang diberikan kepada penulis,
4. Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, dan
5. Bapak Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc., selaku Kepala Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, dan
6. Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia yang telah membantu dalam melaksanakan pengujian.

Akhirnya Penulis berharap agar Proposal Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 12 Agustus 2023

Penulis,

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized, elongated shape with a vertical line extending upwards from the right side.

Ahmad Farhan Awal Mahza

(17511126)

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xviii
Abstrak	xx
<i>Abstract</i>	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Umum	6
2.2 Kinerja Campuran Aspal dengan Campuran <i>Split Mastic Asphalt</i>	6
2.3 Kinerja Campuran Aspal dengan Metode Pencampuran	7

2.4	Perbandingan Penelitian tentang Kinerja Campuran	7
BAB III LANDASAN TEORI		8
3.1	Aspal	8
3.2	Agregat	8
3.2.1	Agregat Kasar	8
3.2.2	Agregat Halus	13
3.3	<i>Stone Matrix Asphalt (SMA)</i>	14
3.4	Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)	15
3.5	Bahan Aditif	15
3.6	Metode Pencampuran Dua Tahap	15
3.7	Metode <i>Marshall</i>	16
3.7.1	<i>Marshall Test</i>	16
3.7.2	Stabilitas (<i>Stability</i>)	17
3.7.3	Kelelehan (<i>Flow</i>)	17
3.7.4	Kepadatan (<i>Density</i>)	17
3.7.5	Berat Jenis <i>Bulk</i> Beton Aspal Padat (Gmb)	18
3.7.6	Berat Jenis Maksimum Beton Aspal yang Belum Dipadatkan	18
3.7.7	<i>Void in Mineral Agregate (VMA)</i>	19
3.7.8	<i>Void in Total Mix (VITM)</i>	19
3.7.9	<i>Void Filled With Asphalt (VFWA)</i>	20
3.7.10	<i>Marshall Quontient (MQ)</i>	20

3.8	<i>Index of Retained Strength (IRS)</i>	21
3.9	Pengujian Perendaman (<i>Immersion Test</i>)	21
3.10	<i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	23
3.11	<i>Tensile Strength Retained (TSR)</i>	24
3.12	<i>Cantabro Loss</i>	24
3.13	<i>Asphalt Flow Down (AFD)</i>	25
BAB IV METODE PENELITIAN		26
4.1	Metode Penelitian	26
4.2	Metode Pengambilan Data	26
4.3	Tahapan Penelitian	27
	4.3.1 Persiapan Bahan	27
	4.3.2 Persiapan Alat	28
4.4	Langkah-langkah penelitian	29
	4.4.1 Pengujian Agregat	29
	4.4.2 Pengujian Aspal	30
	4.4.3 Perencanaan Campuran	31
	4.4.4 Pembuatan Benda Uji	35
	4.4.5 Pengujian <i>Marshall Test</i>	38
	4.4.6 Pengujian <i>Immersion Test</i>	39
	4.4.7 Pengujian <i>Indirect Tensile Strength</i>	39
	4.4.8 Pengujian <i>Indirect Retained Strength</i>	40
	4.4.9 Pengujian <i>Tensile Strength Ratio</i>	40

4.4.10	Pengujian <i>Cantabro Loss</i>	40
4.4.11	Pengujian <i>Asphalt Flow Down (AFD)</i>	41
4.5	Analisis Data	41
4.6	Bagan Alir Penelitian	45
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		47
5.1	Hasil Penelitian	47
5.1.1	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat dan <i>Filler</i>	47
5.1.2	Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	48
5.1.3	Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> Pencampuran <i>Stone Matrix Asphalt (SMA)</i> untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)	48
5.1.4	Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal Optimum (KAO)	51
5.1.5	Hasil Pengujian Campuran <i>Stone Matrix Asphalt (SMA)</i> pada Kadar Aspal Optimum (KAO)	51
5.1.6	Hasil Analisis Statistik <i>T-Test</i>	53
5.2	Pembahasan	54
5.2.1	Karakteristik Agregat Kasar	54
5.2.2	Karakteristik Agregat Halus	55
5.2.3	Karakteristik Aspal	56
5.2.4	Tinjauan Karakteristik <i>Marshall</i> Campuran <i>Stone Matrix Asphalt (SMA)</i> untuk Mendapatkan Kadar Aspal Optimum	58
5.2.5	Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap terhadap Karakteristik <i>Marshall</i> pada Campuran KAO	64

5.2.6 Pengaruh Metode Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap terhadap Karakteristik <i>Immersion Test</i> pada campuran <i>Stone Matirx Asphalt (SMA)</i>	72
5.2.7 Pengaruh Metode Konvensional dan Metode Pencampuran Dua tahap terhadap Nilai <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> pada Campuran <i>Stone Matrix Asphalt (SMA)</i>	77
5.2.8 Pengaruh Metode Konvensional dan Metode Pencampuran Dua tahap terhadap Nilai <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i> pada Campuran <i>Stone Matrix Asphalt (SMA)</i>	79
5.2.9 Pengaruh Metode Konvensional dan Metode Pencampuran Dua tahap terhadap Nilai <i>Cantabro Loss</i> pada Campuran <i>Stone Matirx Asphalt (SMA)</i>	81
5.2.10 Pengaruh Metode Konvensional dan Metode Pencampuran Dua tahap terhadap Nilai <i>Asphalt Flow Down</i> pada Campuran <i>Stone Matrix Asphalt (SMA)</i>	82
BAB VI KESIMPULAN SARAN	84
6.1 Kesimpulan	84
6.2 Saran	86
DAFTAR PUSTAKA	88
LAMPIRAN	91

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan tabel engan Penelitian Sebelumnya tentang Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Kinerja <i>Split Mastic Asphalt</i>	9
Tabel 3.1 Ketentuan Agregat Kasar	16
Tabel 3.2 Ketentuan Agregat Halus	16
Tabel 4.1 Gradasi Agregat Campuran Split Mastic Asphalt	32
Tabel 4.2 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5,5 %	14
Tabel 4.3 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6 %	33
Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6,5 %	34
Tabel 4.5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7 %	34
Tabel 4.6 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7,5 %	34
Tabel 4.7 Jumlah Benda Uji untuk Mencari Nilai KAO	35
Tabel 4.8 Jumlah Benda Uji untuk Tiap Pengujian pada KAO	35
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar	47
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Halus	48
Tabel 5.3 Hasil Pengujian <i>Filler</i>	48
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Aspal	48
Tabel 5.5 Kadar Aspal Optimum Untuk Bahan Ikat Pen 60/70 dari Pengujian <i>Marshall Test</i>	49
Tabel 5.6 Rekapulasi Nilai Kadar Aspal Optimum	50
Tabel 5.7 Kebutuhan Agregat pada Campuran dengan KAO 7,22%	51
Tabel 5.8 Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> Menggunakan Dua Metode Pencampuran	52
Tabel 5.9 Hasil Pengujian <i>Index of Retained Strength (IRS)</i> Menggunakan Dua Metode Pencampuran	52
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Indeks Durabilitas dengan Dua Metode Pencampuran	52
Tabel 5.11 Hasil Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> Menggunakan Dua Metode Pencampuran	52

Tabel 5.12 Hasil Pengujian <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i> Menggunakan Dua Metode Pencampuran	52
Tabel 5.13 Hasil Pengujian <i>CL</i> Menggunakan Dua Metode Pencampuran	53
Tabel 5.14 Hasil Pengujian <i>Asphalt Flow Down (AFD)</i> Menggunakan Dua Metode Pencampuran	53
Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Uji Statistik <i>T-Test</i> Untuk Pengaruh Metode Dua dan Metode Konvensional Tahap Terhadap <i>Marshall Test</i>	53
Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Uji Statistik <i>T-Test</i> Untuk Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> , <i>Index of Rentaied Strength (IRS)</i> , <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i> , <i>Cantabro Loss</i> , dan <i>Asphalt Flow Down (AFD)</i>	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 <i>Split Mastic Asphalt</i>	14
Gambar 3.2 Proses Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap	16
Gambar 4.1 Bagan alir penelitian	45
Gambar 5.1 Kadar Aspal Optimum Aspal Pen 60/70	50
Gambar 5.2 Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas	58
Gambar 5.3 Nilai Kelelahan Guna mencari Kadar Aspal Optimum (KAO)	59
Gambar 5.4 Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai <i>Density</i>	60
Gambar 5.5 Hubungan antara Nilai <i>VMA</i> Campuran dengan Kadar Aspal	616
Gambar 5.6 Hubungan antara Nilai <i>VITM</i> dengan Kadar Aspal	62
Gambar 5.7 Hubungan antara Nilai <i>VFWA</i> Campuran dengan Kadar Aspal	63
Gambar 5.8 Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai <i>MQ</i>	64
Gambar 5.9 Grafik Perbandingan Metode Konvensional dan Dua Tahap Terhadap Stabilitas	65
Gambar 5.10 Grafik Perbandingan Metode Konvensional dan Dua Tahap Terhadap <i>Flow</i>	66
Gambar 5.11 Grafik Perbandingan Metode Konvensional dan Dua Tahap Terhadap <i>Density</i>	67
Gambar 5.12 Grafik Perbandingan Metode Konvensional dan Dua Tahap Terhadap <i>VMA</i>	68
Gambar 5.13 Grafik Perbandingan Metode Konvensional dan Dua Tahap Terhadap <i>VITM</i>	69
Gambar 5.14 Grafik Perbandingan Metode Konvensional dan Dua Tahap Terhadap <i>VFWA</i>	70
Gambar 5.15 Grafik Perbandingan Metode Konvensional dan Dua Tahap Terhadap <i>MQ</i>	71

Gambar 5.16 Grafik Perbandingan antara Metode Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Nilai Stabilitas <i>Marshall</i> 0,5 jam dan 24 jam	72
Gambar 5.17 Grafik Perbandingan antara Metode Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Nilai <i>Index of Retained Strength</i>	16
Gambar 5.18 Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran terhadap Nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP)	75
Gambar 5.19 Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran terhadap Nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK)	76
Gambar 5.20 Grafik Perbandingan Metoden Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Nilai <i>ITS Uncondition</i>	78
Gambar 5.21 Grafik Perbandingan Metoden Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Nilai <i>ITS Condition</i>	78
Gambar 5.22 Grafik Perbandingan Metoden Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Nilai <i>TSR</i>	140
Gambar 5.23 Grafik Perbandingan Metoden Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Nilai <i>Cantabro Loss</i>	816
Gambar 5.24 Perbandingan Metode Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap <i>Asphalt Flow Down</i>	82

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70	45
Lampiran 2	Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70	45
Lampiran 3	Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70	45
Lampiran 4	Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70	95
Lampiran 5	Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam TCE	96
Lampiran 6	Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70	97
Lampiran 7	Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	98
Lampiran 8	Pemeriksaan Kelekatan Agregat terhadap Aspal	99
Lampiran 9	Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin LA	100
Lampiran 10	Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	101
Lampiran 11	Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	102
Lampiran 12	Pemeriksaan Berat Jenis <i>Filler</i>	103
Lampiran 13	Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> untuk mencari KAO	1045
Lampiran 14	Grafik Pengujian <i>Marshall Test</i> untuk mencari KAO	105
Lampiran 15	Grafik Hasil Kadar Aspal Optimum (KAO)	106
Lampiran 16	Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> dengan Dua Metode Pencampuran	107
Lampiran 17	Hasil Pengujian <i>Immersion Test</i> dengan Dua Metode Pencampuran	108
Lampiran 18	Hasil Pengujian IDP dan IDK dengan Dua Metode Pencampuran	109
Lampiran 19	Hasil Pengujian <i>ITS</i> dengan Dua Metode Pencampuran	110
Lampiran 20	Hasil Pengujian <i>TSR</i> dengan Dua Metode Pencampuran	111
Lampiran 21	Hasil Pengujian <i>CL</i> dengan Dua Metode Pencampuran	112

Lampiran 22	Hasil Pengujian <i>AFD</i> dengan Dua Metode Pencampuran	113
Lampiran 23	Hasil Pengujian <i>T-Test</i> terhadap Karakteristik <i>Marshall Test</i>	114
Lampiran 24	Hasil Pengujian <i>T-Test</i> terhadap Karakteristik <i>Immersion Test</i>	115
Lampiran 25	Hasil Pengujian <i>T-Test</i> terhadap Karakteristik <i>ITS</i>	115
Lampiran 26	Hasil Pengujian <i>T-Test</i> terhadap Karakteristik <i>TSR</i>	115
Lampiran 27	Hasil Pengujian <i>T-Test</i> terhadap Karakteristik <i>CL</i>	116
Lampiran 28	Hasil Pengujian <i>T-Test</i> terhadap Karakteristik <i>AFD</i>	116
Lampiran 29	Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Aspal	117
Lampiran 30	Gambar Alat Pemeriksaan Penetrasi Aspal	118
Lampiran 31	Gambar Alat Pemeriksaan Daktilitas Aspal	119
Lampiran 32	Gambar Alat Pemeriksaan Titik Lembek Aspal	120
Lampiran 33	Gambar Alat Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal	121
Lampiran 34	Gambar Alat Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam <i>TCE</i>	122
Lampiran 35	Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	123
Lampiran 36	Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	124
Lampiran 37	Gambar Alat Pemeriksaan Kelekatan Agregat terhadap Aspal	125
Lampiran 38	Gambar Alat Pemeriksaan Keausan Agregat	126
Lampiran 39	Gambar Alat Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	127
Lampiran 40	Gambar Alat Analisis Saringan	128
Lampiran 41	Gambar Pembuatan Sampel Campuran Metode Konvensional	129
Lampiran 42	Gambar Pembuatan Sampel Campuran Metode Dua Tahap	132
Lampiran 43	Gambar Pengujian <i>Marshall Test</i> dan <i>Immersion Test</i>	134

Lampiran 44	Gambar Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> dan <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i>	136
Lampiran 45	Gambar Pengujian <i>Cantabro Loss</i>	137
Lampiran 46	Gambar Pengujian <i>Asphalt Flow Down (AFD)</i>	138

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

<i>SMA</i>	: <i>Stone Matrix Asphalt</i>
<i>IRS</i>	: <i>Index of Retained Strength</i>
<i>ITS</i>	: <i>Index of Tensile Strength</i>
<i>TSR</i>	: <i>Tensile Strength Ratio</i>
<i>VMA</i>	: <i>Voids in the Mineral Aggregate</i>
<i>VITM</i>	: <i>Voids in the Mix</i>
<i>VFWA</i>	: <i>Void Filled with Asphalt</i>
<i>MQ</i>	: <i>Marshall Quetient</i>
SNI	: Standar Nasional Indonesia
ASTM	: <i>American Standart Testing and Material</i>
Gsb	: Berat jenis <i>bulk</i> total agregat
q	: Angka koreksi benda uji
p	: Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat
S	: Nilai stabilitas
g	: Nilai <i>density</i> (gr/cc)
c	: Berat benda uji sebelum direndam (gr)
d	: Berat benda uji dalam keadaan jenuh / <i>ssd</i> (gr)
e	: Berat dalam air (gr)
f	: Volume / isi (cm ³)
<i>Gmb</i>	: Berat jenis <i>bulk</i> campuran padat (gr/cm ³)
Bk	: Berat kering beton aspal padat (gr)
Gmm	: Berat Jenis maksimum dari campuran aspal
Pa	: Kadar aspal terhadap berat beton aspal padat (%)
Ga	: Berat jenis aspal

Gse	: Berat jenis efektif dari agregat pembentukan beotn aspal padat
VMA	: Rongga di antara mineral (%)
Gsb	: Berat jenis <i>bulk</i> agregat (gr/cm ³)
Pb	: Kadar aspal persen terhadap berat total campuran (%)
S ₁	: Rata-rata nilai stabilitas <i>Marshall</i> setelah perendaman selama 30 menit
S ₂	: Rata-rata nilai stabilitas <i>Marshall</i> setelah perendaman selama 24 jam
Pruntuh	: Beban puncak (kg)
h	: Tinggi sampel (cm)
Ao	: Konstanta
Mo	: Berat sebelum diabrasi (gr)
Mi	: Berat setelah diabrasi (gr)
L	: Persentase kehilangan berat (%)

Abstrak

Stone Matrix Asphalt (SMA) memiliki sifat lentur, kedap akan air, tahan geser, tahan temperatur tinggi, dan menahan beban lalu lintas. Namun, Aspal yang memiliki kandungan tinggi perlu bahan tambah guna menyeimbangkan kandungan. Bahan tambah yang digunakan adalah serat selulosa sintesis untuk meningkatkan durabilitas dan menstabiliskan campuran aspal. Penelitian ini sebagai penentuan alternatif kinerja *SMA* pencampuran berbahan ikat aspal Pen 60/70 dengan membandingkan hasil karakteristik metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap.

Metode penelitian yang digunakan yaitu eksperimental dengan berpedoman pada SNI dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Data dikumpulkan melalui pengujian laboratorium diawali dengan pengujian sifat fisik material pada agregat dan aspal. Dilanjutkan dengan penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) dengan variasi kadar aspal 5,5%; 6%; 6,5%; 7%; dan 7,5%. Kemudian pembuatan sampel dengan dua jenis metode pencampuran dan pengujian *Marshall Test*, *Index of Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss (CL)*, dan *Asphalt Flow Down (AFD)*. Tahap akhir yaitu analisis dan pembahasan yang selanjutnya dapat ditarik kesimpulan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan metode pencampuran dua tahap dapat dijadikan pilihan guna meningkatkan kinerja dan mutu campuran *SMA*. Dalam pengujian karakteristik *Marshall Test*, *IRS*, *ITS*, *TSR* metode pencampuran dua tahap menghasilkan nilai ketahanan yang lebih baik daripada metode pencampuran konvensional. Pada pengujian karakteristik *CL* dan *AFD*, metode pencampuran dua tahap menghasilkan nilai daya ikat aspal yang lebih baik daripada metode pencampuran konvensional. Agregat yang melapisi aspal pada metode pencampuran dua tahap dapat meningkatkan stabilitas, durabilitas, tahan terhadap geser, dan kedap air.

Kata Kunci: *Stone Matrix Asphalt (SMA)*, Metode Pencampuran, Aspal Pen 60/70.

Abstract

Stone Matrix Asphalt (SMA) has the properties of flexibility, impermeable to water, shear resistant, high temperature resistant, and withstand traffic loads. However, Asphalt, which has a high content, needs additional ingredients to balance the content. The added material used is synthetic cellulose fiber to increase the durability and stabilize the asphalt mixture. This research is a determination of performance alternatives SMA mixing asphalt binder Pen 60/70 by comparing the results of the characteristics of the conventional mixing method and the two-stage mixing method.

The research method used is experimental with guided by SNI and General Specifications for Bina Marga 2018. Data is collected through laboratory testing begins with testing the physical properties of the material on aggregate and asphalt. Followed by the determination of Optimum Asphalt Content (OAC) with a variation of 5.5% asphalt content; 6%; 6.5%; 7%; and 7.5%. Then making samples with two types of mixing and testing methods Marshall Test, Index of Retained Strength (IRS), Indirect Tensile Strength (ITS), Tensile Strength Ratio (TSR), Cantabro Loss (CL), and Asphalt Flow Down (AFD). The final stage is analysis and discussion which can then be concluded.

The results showed that the use of the two-stage mixing method can be used as an option to improve the performance and quality of the mixture SMA. In characteristic testing Marshall Test, IRS, ITS, TSR the two-stage mixing method produces better resistance values than the conventional mixing method. On characteristic testing CL and AFD, the two-stage mixing method produces better asphalt holding capacity than conventional mixing methods. The aggregate that coats asphalt in the two-stage mixing method can increase stability, durability, shear resistance, and water resistance.

Keywords: Stone Matrix Asphalt (SMA), Mixing Method, Asphalt Pen 60/70.

BAB I

PEDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya zaman, kebutuhan sarana dan prasarana di Indonesia juga terus meningkat. Salah satunya adalah kebutuhan perkerasan jalan. Tingginya permintaan (*demand*) ini menambah pembangunan perkerasan jalan di Indonesia dengan pesat. Perkerasan jalan yang baik menunjang aktivitas lalu lintas yang aman dan nyaman. Selain itu, kekuatan dalam menahan beban lalu lintas dapat meningkatkan durabilitas perkerasan jalan tersebut. Sehingga, perkerasan dapat awet dan tidak membahayakan pengguna lalu lintas dengan merasakan kenyamanan dalam berkendara.

Perkerasan jalan terbagi menjadi tiga yaitu perkerasan lentur perkerasan kaku dan perkerasan komposit. Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*) sendiri merupakan perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapisan permukaan dan bahan pengikat. Perkerasan ini juga menggunakan bahan berbutir sebagai lapisan di bawahnya. Lapisan-lapisan perkerasan bersifat memikul dan menyebar lalu lintas sampai tanah dasar.

Perkuatan dibutuhkan dalam campuran perkerasan untuk mendukung kekuatan dengan bahan pengisi (*filler*). Campuran perkerasan ini memiliki komposisi yang berupa agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*). Campuran perkerasan memiliki beberapa jenis salah satunya yaitu *Stone Matrix Asphalt (SMA)*. *Stone Matrix Asphalt (SMA)* adalah campuran beton aspal panas dengan material agregat kasar, agregat halus, *filler* dan pengikat yang kemudian dicampur dalam keadaan panas.

Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* mengandung kadar agregat yang tinggi. Menurut (Amaheka, 2022) campuran SMA ini memiliki sifat lentur, kedap akan air, tahan geser, tahan temperature tinggi, dan menahan beban lalu lintas. Namun, Aspal yang memiliki kandungan tinggi perlu bahan tambah guna menyeimbangkan

kandungan. Bahan tambah yang digunakan adalah serat selulosa sintesis, berfungsi untuk meningkatkan durabilitas dan menstabilitkan campuran aspal.

Penelitian ini guna menentukan alternatif kinerja pencampuran dengan membandingkan hasil karakteristik metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap. (Hidayat, 2021) mengatakan bahwa melalui metode pencampuran dua tahap mampu meningkatkan nilai *Marshall Quotient*, kekakuan umur kelelahan, dan penurunan aspal panas yang dipengaruhi oleh kelembaban. Pencampuran aspal yang telah dimodifikasi akan berdampak lebih besar dibandingkan dengan pencampuran aspal yang tidak dimodifikasi.

Serat selulosa diperoleh dari tumbuhan yang mengandung protein dan asam amino. Protein dan asam amino ini didapatkan melalui proses ekstraksi. Selanjutnya, larutan protein dan asam amino akan melalui proses destilasi untuk mendapatkan protein dan amino yang murni. Kemudian, hasil dari destilasi ini diendapkan dan diekstraksi dalam keadaan basa ke dalam larutan penggumpalan (*coagulating*) untuk dijadikan serat selulosa.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat diambil dari latar belakang di atas adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* ?
2. Bagaimana perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap nilai *Index of Retained Strength (IRS)* pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* ?
3. Bagaimana perbandingan metode pencampuran terhadap nilai Indeks Durabilitas (*durability*) pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* ?

4. Bagaimana perbandingan metode pencampuran konvensional metode dan dua pencampuran tahap terhadap nilai kuat tarik tak langsung *Indirect Tensile Strength (ITS)* pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* ?
5. Bagaimana perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap nilai *Tensile Strength Ratio (TSR)* pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* ?
6. Bagaimana perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap karakteristik *Cantabro Loss* pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* ?
7. Bagaimana perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap nilai *Asphalt Flow Down (AFD)* pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap karakteristik *Marshall* pengaruh pencampuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*.
2. Mengetahui perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap nilai kekuatan yang dimiliki campuran setelah mengalami proses perendaman (*Index of Retained Strength*) pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*.
3. Mengetahui perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap nilai nilai Indeks Durabilitas (*durability*) pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*.
4. Mengetahui perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap nilai kuat tarik tak langsung (*Indirect Tensile Strength*) pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*.

5. Mengetahui perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap nilai *Tensile Strength Ratio (TSR)* pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*.
6. Mengetahui perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap nilai *Cantabro Loss* pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*.
7. Mengetahui perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap nilai *Asphalt Flow Down (AFD)* pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan dari penelitian ini agar tidak keluar dari masalah yang telah dirumuskan dan tercapainya tujuan.

1. Pencampuran yang dilakukan adalah pencampuran secara konvensional, pencampuran agregat kasar dan aspal terlebih dahulu disusul dengan agregat lainnya, dan pencampuran agregat kasar dan medium dengan aspal disusul dengan agregat halus.
2. Perencanaan gradasi agregat campuran sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018.
3. Jenis campuran yang digunakan adalah *Stone Matrix Asphalt (SMA)* sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018.
4. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian *Marshall*, *Index of Retained Strength (IRS)*, Indeks Durabilitas (*durability*), *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down (AFD)*.
5. Variasi metode yang digunakan sebagai berikut metode 1 yaitu konvensional dan metode 2 yaitu metode pencampuran 2 tahap.
6. Pada pengujian ini untuk mencari kadar aspal optimum (KAO), kadar aspal yang digunakan adalah 5,5%, 6%, 6,5% 7%, dan 7,5% terhadap berat total campuran.
7. Bahan dan material berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018.

8. Bahan aditif yang digunakan berupa serat selulosa buatan sebesar 0,3% sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018.
9. Bahan Ikat yang digunakan yaitu aspal penetrasi 60/70.
10. Agregat kasar dan halus berasal dari Clereng, Kulonprogo yang ada di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
11. Pengujian dan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Menjadi acuan dalam perencanaan perkerasan jalan dengan mengetahui pengaruh berbagai metode pencampuran terhadap kekuatan perkerasan gradasi terbuka menggunakan campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* .
2. Mengetahui perbandingan kualitas campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* antara menggunakan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Campuran beraspal adalah kombinasi campuran agregat dan aspal. Aspal berperan sebagai pengikat antar partikel agregat. Sifat fisik dari campuran aspal berasal dari friksi dan kohesi. Friksi agregat diperoleh dari ikatan antar butir agregat (*interlocking*) dan kekuatannya tergantung pada sifat fisik agregat lainnya. Sedangkan kohesi adalah kemampuan aspal untuk tetap mempertahankan agregat tetap ditempatnya setelah terjadi pengikatan. Oleh karena itu kinerja campuran beraspal sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat agregat dan aspal. Perkerasan beraspal dengan kinerja yang sesuai dengan persyaratan tidak akan memperoleh hasil jika bahan yang digunakan tidak memenuhi syarat, meskipun peralatan dan metode yang digunakan sesuai.

2.2 Kinerja Campuran Aspal dengan Campuran *Split Mastic Asphalt*

Menurut Aminin et al., (2020), *Split Mastic Asphalt (SMA)* adalah campuran perkerasan yang memiliki kadar agregat kasar tinggi. Berdasarkan penelitiannya mengenai karakteristik marshall campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* dengan penambahan selulosa serat kapuk, dengan kadar yang tinggi maka dibutuhkan bahan tambah berupa serat kapuk. Metode penelitian ini membandingkan kuantitatif kinerja campuran *SMA* tanpa serat kapuk dan campuran *SMA* dengan bahan tambah serat kapuk. Penelitian ini memperlihatkan bahwa dengan menambahkan serat kapuk mampu meningkatkan kekuatan dan keawetan kinerja campuran.

Split Mastic Asphalt (SMA) memiliki stabilitas yang tergolong baik karena karakteristiknya sendiri yang lentur, kedap air, tahan geser, mampu menahan beban lalu lintas yang berat, dan tahan terhadap panas. Untuk mencapai kualitas yang baik, perlu ditambahkan bahan pengisi agar dapat menstabilkan kadar aspal. Dengan adanya bahan pengisi serat selulosa mampu mengurangi risiko adanya *bleeding*, meningkatkan

kemampuan kinerja campuran, membentuk permukaan dengan kualitas yang lebih baik, dan mestabilisasi kadar aspal yang tinggi (Metekohy et al., 2022).

2.3 Kinerja Campuran Aspal dengan Metode Pencampuran

Hidayat (2021) melakukan studi mengenai pengaruh metode pencampuran dua tahap terhadap karakteristik campuran *Stone Matrix Asphalt* dengan bahan ikat aspal pen 60/70 dan aspal dan aspal *crumb rubber*. Tujuan penelitian ini guna mengurangi kerusakan jalan diimbangi dengan peningkatan mutu campuran beraspal yang meninjau perbandingan dua tahap metode pencampuran dan metode pencampuran konvensional terhadap karakteristik campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* 12,5 mm dengan bahan ikat aspal pen 60/70 dan aspal *crumb rubber*. Penelitian ini dilakukan melalui uji *Marshall Test*, *Immersion Test*, *Indirect Tensile Strength*, *Tensile Strength Ratio*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down*. Dari penelitian ini memperoleh hasil yaitu metode pencampuran dua tahap dapat digunakan sebagai metode alternatif guna meningkatkan mutu dan kinerja campuran *SMA* 12,5 mm bahan ikat aspal pen 60/70 dan aspal *crumb rubber* pada setiap pengujian.

Wahyudi (2019) meneliti pengaruh berbagai metode pencampuran terhadap karakteristik campuran *superpave* dan aspal porus. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan berbagai metode pencampuran pada perkerasan dengan campuran *superpave* dan aspal porus melalui pengujian *Marshall*, *Cantabro Loss*, *ITS*, *IRS*, dan *TSR*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah dilakukannya pengujian pada campuran *superpave* dan porus uji *Marshall* dengan campuran *superpave* memiliki nilai stabilitas terbaik yaitu menggunakan metode pencampuran 3 tahap (konvensional, agregat kasar + aspal yang diikuti agregat lain, dan agregat kasar + medium aspal yang diikuti agregat lain). Sedangkan pada campuran aspal porus memilikinilai stabilitas terbaik yaitu menggunakan metode konvensional. Berdasarkan hasil parameter pengujian dapat disimpulkan bahwa untuk campuran *superpave* disarankan menggunakan metode pencampuran 3 tahap, sedangkan untuk campuran *superpave*

untuk nilai stabilitas terbaiknya yaitu menggunakan metode pencampuran 3 tahap dan untuk campuran aspal porus terbaik menggunakan metode konvensional.

Kok dan Kuloglu (2011) melakukan penelitian dengan menggunakan metode dua fase guna meningkatkan sifat mekanik dari campuran aspal panas. Berdasarkan hasil penelitian ini yaitu metode dua fase mampu meningkatkan kekakuan, kekakuan mulur, umur kelelahan, *Marshall Quotient*, dan mampu mengurangi kerusakan aspal campuran panas yang dikarenakan oleh kelembaban. Penggunaan metode pencampuran dua fase dengan campuran aspal yang dimodifikasi lebih memberi pengaruh besar dibandingkan dengan campuran aspal yang tidak dilakukan modifikasi.

Metode pencampuran dua tahap yang dilakukan oleh Kiselev dkk (2020) digunakan untuk mengetahui sifat fungsional dan mekanik pada campuran porus aspal berbahan ikat dengan tambahan *styrene-butadien-tyrene (SBS)* (4%) dan *tafpack super (TPS)* (6%, 8%, dan 10%). Hasil dari penelitian ini yaitu nilai sifat mekanik aspal berpori, kinerja pemecahan, kelelahan, dan *rutting* yang lebih baik dengan penggunaan metode pencampuran dua tahap daripada penggunaan metode konvensional. Hal ini dipengaruhi oleh agregat kasar yang dilapisi oleh spal lebih awal Sehingga, pengikatan antar agregat yang terjadi akan lebih optimal.

2.4 Perbandingan Penelitian tentang Kinerja Campuran

Secara singkat, penelitian ini menggunakan campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* dengan bahan tambah serat selulosa menggunakan perbandingan metode konvensional dan metode dua tahap melalui pengujian *Marshall*, *IRS*, *ITS TSR*, *Cantabro Loss* dan *AFD*. Adapun perbandingan dari beberapa artikel yang sudah dilakukan di atas terangkum dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya tentang Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Kinerja Stone Matrix Asphalt

No.	Peneliti	(Tahir, 2011)	Kok dan Kuloglu (2011)	(Aminin, Hasanuddin, dll 2014)	(Rif'an., 2016)	(Wahyudi, 2019)	Kiselev, dll (2020)	(Hidayat, 2021)	(Mahza, 2023)
1.	Judul Penelitian	Kinerja Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) yang Menggunakan Serat Selulosa Alami Dedak Padi.	<i>Effects of Two-Phase Mixing Method on Mechanical Properties of Hot Mix Asphalt</i>	Karakteristik Marshall Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) dengan Penambahan Serat Kapuk.	Pengembangan Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) Menggunakan Bahan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dan Ijuk	Pengaruh Berbagai Metode Pencampuran Terhadap Karakteristik Campuran SuperPave dan Aspal Porus	<i>The Effect of Two-Phase Mixing on The Functional and Mechanical Properties of Hot Mix Asphalt</i>	Pengaruh Metode Pencampuran Dua Terhadap Karakteristik Campuran Stone Matrix Asphalt dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Aspal Crumb Rubber	Perbandingan Kinerja Stone Matrix Asphalt (SMA) dengan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap
2.	Jenis Campuran	SMA + S	<i>Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)</i>	SMA + S	SMA + S	SMA + S	<i>Asphalt Porous 13 mm</i>	SMA + S	SMA + S
3.	Bahan Tambah	Dedak Padi	AC-5, AC-10, dan AC-20	Serat Kapuk	<i>Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dan Ijuk</i>	Aspal Porus dan Superpave	SBS dan TPS	Serat Selulosa	Serat Selulosa
4.	Metode Pengujian	Uji Marshall	Metode pencampuran dua tahap, Marshall	Uji Marshall	Uji Marshall	Uji Marshall, ITS, TSR, Cantabro	<i>Material Test, Rutting Test, Split</i>	Uji Marshall, IRS, ITS, TSR, dan	Uji Marshall, IRS, Index Durability,

Sumber: Tahir (2011), Kok dan Kuloglu (2011), Aminin dan Hasanuddin, dll (2014), Rif'an (2016), Wahyudi (2019), Kiselev, dll (2020), Hidayat (2021), dan Mahza (2023)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya tentang Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Kinerja *Stone Matrix Asphalt*

No.	Peneliti	(Tahir, 2011)	Kok dan Kuloglu (2011)	(Aminin, Hasanuddin, dll 2014)	(Rif'an., 2016)	(Wahyudi, 2019)	Kiselev, dll (2020)	(Hidayat, 2021)	(Mahza, 2023)
			<i>Quotient, IRS, dan ITS</i>			<i>Loss, dan IRS</i>	<i>Test, Fatigue Test</i>	<i>Cantabro Loss</i>	<i>ITS, TSR, Cantabro Loss, dan AFD</i>
5.	Metode Pencampuran	Metode gradasi	Konvensional dan dua tahap	Metode perbandingan <i>marshall</i> menggunakan serat selulosa dan tidak menggunakan serat selulosa	Metode pencampuran dua tahap	Metode pencampuran konvensional, metode pencampuran dua tahap, dan metode pencampuran tiga tahap	Konvensional dan Dua Tahap	Metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap	Metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap
6.	Hasil Pengujian	Dengan bahan tambah serat selulosa meningkatkan kinerja campuran beton aspal dari aspek stabilitas, fleksibilitas, dan durabilitas.	metode dua fase ini meningkatkan <i>Marshall Quotient</i> , kekakuan, kekakuan mulur, umur kelelahan dan mampu mengurangi kerusakan aspal.	Campuran <i>Split Mastic Asphalt</i> dengan penambahan serat kapuk semakin meningkat dibandingkan tanpa serat kapuk.	membentuk <i>mastic</i> sehingga dapat menambah ketahanan aspal dari suhu tinggi dan menjaga aspal tetap pada posisinya	Nilai karakteristik volumetrik mempengaruhi hasil dari uji <i>marshall</i> dan pemilihan metode pada uji <i>ITS</i> campuran <i>superpave</i> yang mempengaruhi nilai <i>TSR</i> dan <i>Cantabro Loss</i> .	Campuran porous yang menggunakan metode pencampuran dua tahap memperoleh campuran dengan nilai kekakuan, pemisah, dan retak yang lebih.	Pengujian <i>Marshall, IRS, ITS, dan TSR</i> menghasilkan nilai lebih tinggi daripada pengujian <i>Cantabro Loss</i> dan nilai lebih rendah daripada pengujian aspal Pen 60/70.	

Sumber: Tahir (2011), Kok dan Kuloglu (2011), Aminin dan Hasanuddin, dll (2014), Rif'an (2016), Wahyudi (2019), Kiselev, dll (2020), Hidayat (2021), dan Mahza (2023)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya tentang Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Kinerja *Stone Matrix Asphalt*

No.	Peneliti	(Tahir, 2011)	Kok dan Kuloglu (2011)	(Aminin, Hasanuddin, dll 2014)	(Rif'an., 2016)	(Wahyudi, 2019)	Kiselev, dll (2020)	(Hidayat, 2021)	(Mahza, 2023)
		Dengan bahan tambah serat selulosa meningkatkan kinerja campuran beton aspal dari aspek stabilitas, fleksibilitas, dan durabilitas.	metode dua fase ini meningkatkan <i>Marshall Quotient</i> , kekakuan, umur kelelahan dan mampu mengurangi kerusakan aspal campuran panas yang disebabkan oleh kelembaban.	Campuran <i>Split Mastic Asphalt</i> dengan penambahan serat kapuk semakin meningkat dibandingkan tanpa serat kapuk.	membentuk <i>mastic</i> sehingga dapat menambah ketahanan aspal dari suhu tinggi dan menjaga aspal tetap pada posisinya.	Nilai karakteristik volumetrik mempengaruhi hasil dari uji marshall dan pemilihan metode pada uji <i>ITS</i> campuran <i>superpave</i> yang mempengaruhi nilai <i>TSR</i> dan <i>Cantabro Loss</i> .	Campuran porus yang menggunakan metode pencampuran dua tahap memperoleh campuran dengan nilai kekakuan, pemisah, dan retak yang lebih baik daripada metode pencampuran konvensional.	Pengujian Marshall, IRS, ITS, dan TSR menghasilkan nilai lebih tinggi daripada pengujian <i>Cantabro Loss</i> dan nilai lebih rendah daripada pengujian aspal Pen 60/70.	

Sumber: Tahir (2011), Kok dan Kuloglu (2011), Aminin dan Hasanuddin, dll (2014), Rif'an (2016), Wahyudi (2019), Kiselev, dll (2020), Hidayat (2021), dan Mahza (2023)

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Aspal

Aspal atau bitumen didefinisikan sebagai material yang berwarna hitam atau coklat tua. Aspal berfungsi sebagai pengikat agregat dalam pembuatan jalan yang akan melembek dan meleleh bila dipanasi. Aspal memiliki sifat visco-elastis yang bergantung pada waktu dan pembebanan. Aspal akan mencair jika dipanaskan samapi temperature tertentu dan kembali membeku jika temperature turun. Kandungan aspal terdiri dari 80% karbon, 10% hydrogen, 6% belereng dan sisanya oksigen, Nitrogen serta sejumlah renik besi, nikel dan vanadium (dpu.kulonprogokab.go.id).

3.2 Agregat

Agregat adalah sekumpulan material granural, misalnya pasir, kerikil, batu pecah atau material lainnya baik berupa alam atau buatan. Agregat merupakan komponen struktur utama dalam perkerasan jalan yaitu 90% - 95% agregat sesuai dengan persentase berat, atau 75% - 85% agregat berdasarkan persentase volume, dengan begitu daya dukung, mutu, dan keawetan perkerasan jalan ditentukan dari sifat agregat dan pencampuran agregat dengan bahan material lainnya. Sebagai bahan lapis perkerasan, agregat berperan dalam mendukung prasarana transportasi, khususnya dalam hal perkerasan jalan. Daya dukung perkerasan jalan ditentukan dari karakteristik agregat yang digunakan.

3.2.1 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang butirannya lebih besar dari 5 mm atau agregat yang semua butirannya dapat tertahan diayakan 4,75 mm dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki dan memenuhi ketentuan.

Tabel 3.1 Ketentuan Agregat Kasar

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

(Sumber : Bina Marga, 2018)

3.2.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat besar butir maksimum 4,76 mm berasal dari alam atau hasil alam. Agregat halus harus diperoleh dari batu yang memenuhi ketentuan mutu. Hal ini dapat memenuhi ketentuan mutu, batu pecah halus harus diperoleh dari batu yang bersih. Agregat halus didapat dari sumber manapun, harus terdiri dari pasir atau penyaringan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos saringan No4. (4,75 mm).

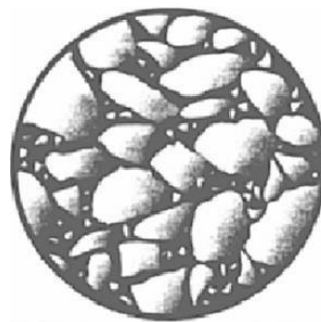
Tabel 3.2 Ketentuan Agregat Halus

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

(Sumber : Bina Marga, 2018)

3.3 *Stone Matrix Asphalt (SMA)*

Stone Matrix Asphalt (SMA) adalah campuran perkerasan yang memiliki persentase agregat kasar yang tinggi dan memiliki kandungan aspal yang ditambahkan bahan aditif yang berfungsi untuk menstabiliskan kadar aspal yang tinggi. Menurut Aditya, 2021 *Stone Matrix Asphalt (SMA)* adalah lapis permukaan bergradasi terbuka, terdiri dari susunan *split* (agregat kasar dengan kadar tinggi 75%), *Mastic Asphalt* (campuran agregat sedang, *filler*, dan aspal dengan kadar yang relatif tinggi), dan bahan *additive*.

**Gambar 3.1 *Stone Matrix Asphalt***

(https://www.researchgate.net)

3.4 Bahan Pengisi (*Filler*)

Filler adalah agregat yang lolos saringan No. 200 (0,0075 mm). Fungsi *filler* sebagai material yang akan mengisi rongga-rongga kecil antar partikel agregat kasar dan agregat halus. Selain itu, *filler* mampu meningkatkan tingkat kerapatan dan stabilitas dari campuran tersebut. Dapat ditambahkan *filler* berupa debu batu kapur (*limestone dust*), debu kapur magnesium, *dolomite*, semen dan abu terbang tipe C dan F yang sesuai dengan AASHTO M303-89 (Hasibuan, 2019).

3.5 Bahan Aditif

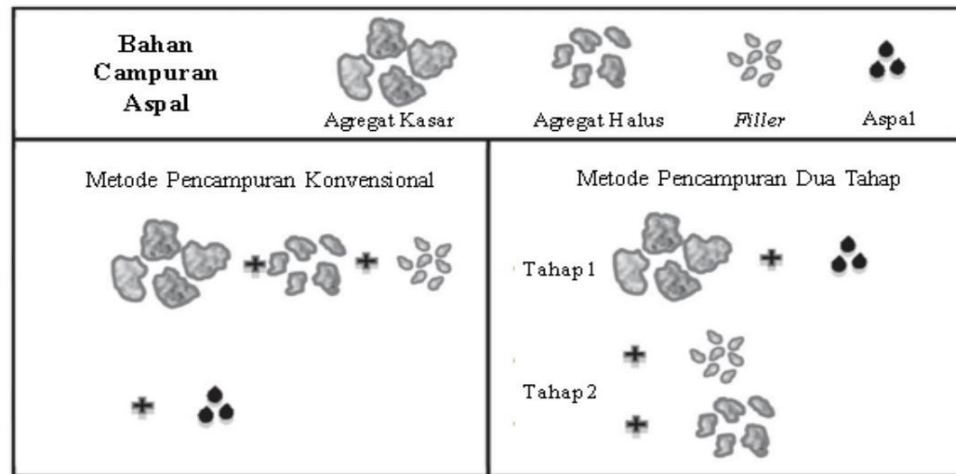
Bahan tambah yang digunakan dalam campuran *Stone Matrix Asphalt* adalah bahan aditif. Bahan aditif yang digunakan dalam campuran *Stone Matrix Asphalt* yaitu serat selulosa.

3.6 Metode Pencampuran Dua Tahap

Metode ini digunakan untuk meningkatkan kinerja campuran beton aspal dengan melakukan tahapan mencampur aspal dan agregat. Metode pencampuran dua tahap yang tergolong baru ini berlandaskan pada *pre-coating* agregat kasar dengan bahan ikat yang sesuai kadar aspal optimum lalu dicampur dengan agregat halus dan *filler*. Hal ini bertujuan untuk memperkuat sifat adhesi aspal dengan agregat dan mengurangi pengelupasan agregat akibat kelembapan. Selain itu, dapat mengurangi debu atau kotoran yang dapat menurunkan kinerja campuran beraspal (Kok dan Kuloglu, 2011).

Campuran aspal yang dihasilkan dari pencampuran dua tahap memiliki kemampuan daya tahan yang lebih terhadap deformasi permanen. Selain itu, hasil dari metode ini juga memiliki kekuatan tarik tidak langsung yang lebih tinggi dari metode pencampuran konvensional. Metode pencampuran ini menghasilkan campuran aspal yang distribusi rongganya merata. Sehingga, campuran ini lebih mudah dipadatkan.

Ilustrasi proses metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Proses Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap

(Sumber: Bjorn Birgisson dkk, 2015)

Berdasarkan Gambar 3.2 menunjukkan bahwa metode pencampuran konvensional menggunakan bahan campur aspal berupa agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal yang semua bahan tersebut langsung dicampurkan dan dipanaskan. Metode dua tahap dilakukan secara bertahap, diawali dengan mencampur agregat kasar dengan aspal lalu dipanaskan. Setelah dipanaskan, barulah campuran tersebut ditambahkan dengan agregat halus dan *filler*.

3.7 Metode Marshall

Metode marshall merupakan pengujian guna menghasilkan design aspal yang baik. Metode marshall ini terdiri dari uji marshall beserta parameternya yaitu stabilitas, kelelahan (*flow*), kepadatan (*density*), *Void In the Mineral Aggregate (VMA)*, *Void In Total Mix (VITM)*, *Void Filled With Asphalt (VFWA)*, dan *Marshall Quontient (MQ)*.

3.7.1 Marshall Test

Hasil dari pengujian *marshall* ini diplot terhadap kadar bitumen. Setelah itu, kadar optimum pada bitumen dipilih. Sehingga dari tahapan ini dapat diketahui *porosity*, *stability*, dan *flow* secara teliti yang nantinya dapat dianalisis sifat aspal yang awet dan tahan terhap penurunan (*rutting*) serta retak (*fatigue*).

3.7.2 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan guna menahan beban lalu lintas sampai mengalami kelelahan plastis (deformasi). Kadar aspal mempengaruhi nilai stabilitas dimana akan terus meningkat sampai batas optimum yang kemudian akan turun setelah melewati batas optimum. Untuk memperoleh nilai stabilitas dapat ditentukan dengan Persamaan 3.1 sebagai berikut.

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

keterangan:

- q : angka koreksi benda uji,
- p : pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat, dan
- S : nilai stabilitas.

3.7.3 Kelelahan (*Flow*)

Flow digunakan untuk mengetahui besaran perubahan bentuk (deformasi) pada campuran aspal akibat beban yang diterima sampai batas keruntuhan dalam satuan mm atau 0,01 *inch*. Terdapat beberapa faktor untuk mendapatkan nilai *flow* diantaranya yaitu viskositas aspal, kadar aspal, dan gradasi agregat. Suatu campuran yang memiliki nilai kelelahan tinggi dengan stabilitas yang rendah akan cenderung plastis berlaku pula sebaliknya yang cenderung bersifat getas dan mengalami keretakan (*cracking*).

3.7.4 Kepadatan (*Density*)

Nilai *density* merupakan tingkat kepadatan dari campuran perkerasan agregat dan aspal setelah dipadatkan. Nilai ini berupa berat campuran padat pada setiap satuan *volume*. Apabila nilai *density* semakin tinggi, maka campuran mampu menahan beban lebih baik karena rongga akan mengecil dan gesekan yang terjadi antar agregat akan membesar. Selain itu, campuran akan lebih kedap udara dan air sehingga mengurangi proses oksidasi. Nilai *density* juga dipengaruhi oleh kadar *filler*, kadar aspal gradasi campuran, dan proses pemadatan. Untuk memperoleh nilai *density* dapat ditentukan dengan Persamaan 3.2 dan Persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$g = c \div f \quad (3.2)$$

$$f = d - e \quad (3.3)$$

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).

3.7.5 Berat Jenis *Bulk* Beton Aspal Padat (G_{mb})

Berat jenis *bulk* beton aspal adalah berat jenis campuran beton aspal dengan pori / udara, diukur dengan menggunakan persamaan hukum *Archimedes* seperti pada Persamaan 3.4 sebagai berikut.

$$G_{mb} = \frac{BK}{B_{ssd} - B_a} \quad (3.4)$$

keterangan:

G_{mb} : berat jenis *bulk* campuran padat (gr/cm³),

B_k : berat kering beton aspal padat (gr),

B_{ssd} : berat kering permukaan beton aspal yang telah dipadatkan (gr),

B_a : berat beotn aspal padat di dalam air (gr), dan

$B_{ssd} - B_a$: volume *bulk* dari beotn aspal padat, jika jenis air diasumsikan sama dengan 1.

3.7.6 Berat Jenis Maksimum Beton Aspal yang Belum Dipadatkan (G_{mm})

Berat jenis maksimum beton aspal yang belum dipadatkan adalah berat campuran beton aspal tanpa pori / udara dan dapat diperhitungkan melalui Persamaan 3.5 sebagai berikut.

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s + P_a}{G_{se} G_a}} \quad (3.5)$$

keterangan:

G_{mm} : berat Jenis maksimum dari campuran beton aspal yang belum dipadatkan,

P_a : kadar aspal terhadap berat beton aspal padat (%),

G_a : berat jenis aspal, dan

G_{se} : berat jenis efektif dari agregat pembentukan beton aspal padat.

3.7.7 Void in Mineral Agregate (VMA)

VMA merupakan rongga antar butiran agregat dalam suatu campuran yang terdapat di antara partikel agregat suatu campuran yang telah dipadatkan. Perhitungan VMA dapat dilakukan melalui pada Persamaan 3.6 sebagai berikut.

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{(100 - p_b)} \times 100 \quad (3.6)$$

keterangan:

VMA : rongga di antara mineral (%),

G_{sb} : berat jenis *bulk* agregat (gr/cm³),

G_{mb} : berat jenis *bulk* campuran padat (gr/cm³), dan

P_b : kadar aspal persen terhadap berat total campuran (%).

3.7.8 Void in Total Mix (VITM)

VITM merupakan campuran beton aspal yang dipadatkan dari sisa volume pori/udara. VITM berfungsi sebagai tempat bergesernya butir-butir agregat, akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repitansi beban lalu lintas atau tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur. Perhitungan dilakukan berdasarkan volume beton aspal padat = 100 cm³ yang dapat dilihat seperti pada Persamaan 3.7 sebagai berikut.

$$VITM = 100 \times \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \quad (3.7)$$

keterangan:

VITM : rongga udara dalam campuran, persen total (%),

Gmm : berat jenis maksimum beton aspal (gr/cm³), dan

Gmb : berat jenis *bulk* campuran padat (gr/cm³).

3.7.9 Void Filled With Asphalt (VFWA)

VFWA merupakan nilai persentase rongga dalam campuran yang berisi aspal yang nilainya meningkat berdasarkan nilai kadar aspal sampai batas tertentu yang diperhitungkan melalui Persamaan 3.8 sebagai berikut.

$$VFWA = \frac{100(VMA - VITM)}{Gmm} \quad (3.8)$$

keterangan:

VFWA : rongga terisi aspal (%),

VMA : rongga di antara mineral (%),

VITM : rongga udara dalam campuran, persen total (%), dan

Gmm : berat jenis maksimum beton aspal (gr/cm³).

3.7.10 Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient adalah perbandingan nilai flow dan stabilitas. Nilai *MQ* semakin besar maka semakin kaku campuran tersebut, sebaliknya semakin kecil nilai *MQ* maka semakin lentur campuran tersebut. Nilai *MQ* dapat diperhitungkan melalui Persamaan 3.9 sebagai berikut.

$$MQ = \frac{q}{r} \quad (3.9)$$

keterangan:

MQ : nilai *Marshall Quotient* (kg/mm),

q : nilai stabilitas (kg), dan

r : nilai *flow* (mm).

3.8 *Index of Retained Strength (IRS)*

Index of Retained Strength adalah menunjukkan nilai benda uji setelah mengalami proses perendaman. Nilai *IRS* dapat diperhitungkan dengan Persamaan 3.10 sebagai berikut.

$$IRS = \left(\frac{S_2}{S_1} \right) \times 100 \quad (3.10)$$

keterangan:

S_1 : rata-rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendalam 30 m (kg), dan

S_2 : rata-rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendalam 24 jam (kg).

3.9 *Pengujian Perendaman (Immersion Test)*

Pengujian ini merupakan uji campuran aspal untuk mengetahui perubahan karakteristik akibat pengaruh dari air, suhu, udara, dan cuaca. Berdasarkan AASHTO T.165-74 atau ASTM D.1075-54 (1969), *immersion test* terbagi menjadi 2 kondisi yang berbeda, yaitu perendaman di dalam *water bath* pada suhu 60°C selama 30 menit (stabilitas standar) dan perendaman pada suhu 60°C selama 24 jam (stabilitas rendaman). Pada *immersion test* dijumpai istilah *Index or Retained Strength (IRS)*, yaitu nilai stabilitas *Marshall* sisa untuk mengukur daya tahan terhadap pengrusakan oleh air. Nilai *IRS* sendiri didapat dari Persamaan 3.11 berikut.

$$Index\ or\ Retained\ Strength = \frac{S_2}{S_1} \times 100 \quad (3.11)$$

keterangan:

S_1 : rata-rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama 30 menit (kg), dan

S_2 : rata-rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama 24 jam (kg).

Durabilitas merupakan salah satu pengaruh terhadap campuran perkerasan melalui perendaman. Kemampuan dari durabilitas sendiri untuk melawan terhadap pengaruh cuaca dan lalu lintas. Ketahanan suatu campuran perkerasan akan kehancuran

akibat cuaca, air, dan beban lalu lintas adalah pengaruh hubungan nilai durabilitas. Penentuan nilai sifat durabilitas sendiri dapat dilakukan melalui analisis indeks durabilitas. Indeks durabilitas memiliki 3 parameter analisis yaitu Indeks Kekuatan Sisa (IKS), Indeks Durabilitas Pertama (IDP), dan Indeks Durabilitas Kedua (IDK).

1. Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Indeks Kekuatan Sisa (IKS) merupakan salah satu tolak ukur durabilitas untuk mengetahui tingginya kepadatan dalam mengurangi infiltrasi air. Sehingga, dapat mempertahankan stabilitas campuran suatu perkerasan. Nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) merupakan nilai *Index of Retained Strength (IRS)*.

2. Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks Durabilitas Pertama (IDP) merupakan salah satu tolak ukur durabilitas untuk mengetahui total kelandaian secara urut dari kurva keawetan (durabilitas). Berikut merupakan perhitungan IDP dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.12 berikut.

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_i - S_{i+1}}{t_{i+1} - t_i} \quad (3.12)$$

keterangan:

r = indeks penurunan stabilitas (%),

S_i = persentase kekuatan sisa pada waktu T_1 (%),

S_{i+1} = persentase kekuatan sisa pada waktu T_1+1 (%), dan

t_i, t_{i+1} = periode perendaman (dimulai dari awal pengujian).

Nilai “r” yang bernilai positif mengindikasikan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai “r” yang bernilai negatif mengindikasikan adanya perolehan kekuatan.

3. Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Indeks Durabilitas Kedua (IDK) merupakan salah satu tolak ukur durabilitas untuk mendapatkan persentase kehilangan kekuatan rata-rata selama proses

perendaman. Perhitungan IDK dapat diperoleh berdasarkan Persamaan 3.13 berikut.

$$IDK = \frac{1}{t_n} \sum_{i=0}^{n-1} a_i = \frac{1}{2t_n} \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - S_{i+1}) [2t_i - t_{i+1} + t_{i+1}] \quad (3.13)$$

keterangan:

- a = kehilangan kekuatan rerata satu hari (%),
- t_n = total waktu perendaman (jam),
- S_i = persentase kekuatan sisa pada waktu T_i (%),
- S_{i+1} = persentase kekuatan sisa pada waktu T_{i+1} (%), dan
- t_i, t_{i+1} = periode perendaman (dimulai dari awal pengujian).

Indeks Durabilitas Kedua (IDK) memiliki nilai “a”, apabila hasil nilai “a” yang bernilai positif atau > 0 menunjukkan suatu campuran tersebut berkurang atau kehilangan kekuatannya, berlaku juga sebaliknya pada nilai “a” yang bernilai negatif atau < 0 menunjukkan bahwa suatu campuran tersebut bertambah akan kekuatan. Berdasarkan hal tersebut, maka nilai $a < 100$ yang berbentuk persentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari (S_a). Persentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari (S_a) dapat diperhitungkan melalui Persamaan 3.14 berikut.

$$S_a = (100 - a) \quad (3.14)$$

keterangan:

- S_a = kekuatan sisa rata-rata satu hari (%)

3.10 Indirect Tensile Strength (ITS)

Indirect Tensile Strength adalah metode pengujian yang bertujuan untuk mengetahui nilai campuran aspal dan gaya tarik. *Indirect Tensile Strength* memiliki sifat untuk memperkirakan keretakan dari kegagalan gaya tarik. Uji *ITS* ini dapat dilakukan dengan memberikan beban (*dial*) di atas sampel yang berbentuk silinder dan bekerja sejajar sepanjang bidang vertikal sampai menyebabkan benda uji pecah.

Uji *ITS* ini dapat dilakukan dengan memberikan beban (*dial*) di atas sampel yang berbentuk silinder dan bekerja sejajar sepanjang bidang vertikal sampai menyebabkan benda uji pecah. Nilai *ITS* dapat diperhitungkan dengan Persamaan 3.11 sebagai berikut.

$$ITS = \frac{Pruntuh}{h} \times A_o \quad (3.11)$$

keterangan:

ITS : kuat tarik tidak langsung (kg/cm²),

Pruntuh : beban puncak (kg),

h : tinggi sampel (cm), dan

A_o : konstanta.

3.11 *Tensile Strength Retained (TSR)*

Tensile Strength Retained adalah nilai perbandingan daya tahan tarik campuran yang direndam selama 24 jam dalam *waterbath* bersuhu 60 derajat celsius dengan daya tahan tarik tanpa rendaman. Uji ini untuk mengetahui nilai gaya tarik suatu campuran aspal beton yang direndam dalam variasi perendaman tertentu. Selain itu, nilai ini juga dapat menunjukkan perkiraan kerentanan campuran terhadap air dan suhu. Nilai *TSR* dapat diperoleh berdasarkan Persamaan 3.13 berikut.

$$TSR = (T_2/T_1) \times 100 \quad (3.13)$$

keterangan:

S₁ : rata-rata nilai *ITS* tanpa rendaman, dan

S₂ : rata-rata nilai *ITS* setelah perendaman 24 jam (kg)

3.12 *Cantabro Loss*

Cantabro Loss adalah metode pengujian untuk mengetahui tingkat ketahanan suatu campuran aspal terhadap pengaruh adanya beban lalu lintas yang dapat menyebabkan keausan dan penurunan kekuatan pada perkerasan. Mesin *Los Angeles* digunakan dalam pengujian ini dengan benda uji yang dipadatkan kedua sisinya sebanyak 2 x 75 tumbukan. Selanjutnya, benda uji akan diletakkan dalam drum *Los*

Angeles tanpa bola yang diputar sebanyak 300 putaran. Untuk memperoleh nilai *Cantabro* dapat diperhitungkan melalui Persamaan 3.14 sebagai berikut.

$$L = \frac{M_o - M_i}{M_o} \times 100\% \quad (3.14)$$

Keterangan ;

M_o : berat sebelum diabrasi (gr),

M_i : berat setelah diabrasi (gr), dan

L : persentase kehilangan berat (%).

3.13 Asphalt Flow Down (AFD)

Wijayanti (2016) menjelaskan pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan kadar aspal maksimum yang tercampur menjadi satu dengan agregat tanpa adanya pemisahan. Pentingnya melakukan hal ini agar tidak terjadi pemisahan aspal saat pengangkutan dari *AMP (Asphalt Mixing Plant)* menuju tempat penghamparan. Besaran *Asphalt Flow Down* dapat diperhitungkan melalui Persamaan 3.15 berikut.

$$AFD = [(m_3 - m_1) / (m_2 - m_1)] \times 100 \quad (3.15)$$

keterangan:

M_1 : berat cetakan berupa nampan dan kertas aluminium foil (gr),

M_2 : berat cetakan beserta campuran beraspal (gr), dan

M_3 : berat cetakan dengan campuran aspal yang melekat pada aluminium foil cd (gr).

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan metode penelitian eksperimental. Metode penelitian eksperimental yang dimaksud adalah membuat sampel benda uji dengan jumlah tertentu dan variable tertentu kemudian diuji untuk mendapatkan data. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah *Stone Matrix Asphalt (SMA)*, agregat, aspal, dan *filler*. Serat selulosa yang digunakan pada penelitian ini merupakan serat selulosa buatan yang berasal dari PT. SARANARAYA REKACIPTA JAKARTA dengan menggunakan aspal penetrasai 60/70. Penelitian ini memakai standar dan spesifikasi yang menjadi pedoman yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui perbandingan metode pencampuran konvensional dan dua tahap pada perkerasan *Stone Matrix Asphalt (SMA)* terhadap karakteristik *Marshall Test*, *Index of Retained Strength (IRS)*, Indeks Durabilitas Pertama (IDP), Indeks Durabilitas Kedua (IDK), *Indirect Tensile Stength (ITS)*, *Tensile Stength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss* dan *Asphalt Flow Down (AFD)*.

4.2 Metode Pengambilan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan melalui 2 sumber data yang dijabarkan sebagai berikut.

1. Data Primer yang diperoleh dari penelitian langsung meliputi pemeriksaan bahan, mencari Kadar Aspal Optimum (KAO), melakukan pengujian karakteristik *Marshall Test*, *Index of Retained Strength (IRS)*, Indeks Durabilitas Pertama (IDP), Indeks Durabilitas Kedua (IDK), *Indirect Tensile Stength (ITS)*, *Tensile Stength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss* dan *Asphalt Flow Down (AFD)*.
2. Data sekunder yang merupakan penunjang data primer pada penelitian ini berpedoman pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

4.3 Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia (UII), Yogyakarta. Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian sebagai berikut.

1. Tahap Persiapan

Tahapan persiapan meliputi persiapan bahan dan alat yang digunakan dalam pembuatan sampel.

Perencanaan Gradasi dan Berat Agregat

Dalam proses perencanaan ini menyesuaikan kebutuhan material yang digunakan.

2. Tahap Pembuatan Sampel

Tahapan pembuatan sampel harus sesuai dengan perencanaan gradasi dan berat agregat.

3. Tahap Pengujian Sampel

Tahap ini merupakan rangkaian pengujian yang harus sudah direncanakan dari awal mengikuti prosedur pengujian dan menggunakan alat yang sudah terkalibrasi agar mendapatkan data yang valid.

4. Tahap Analisis Data

Tahap ini merupakan proses analisis dan olah data yang diperoleh dari hasil pengujian sampel pada tahap sebelumnya. Setelah proses tersebut, data dibandingkan dengan standar yang berlaku yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

5. Tahap Kesimpulan

Tahap ini merupakan proses penarikan kesimpulan dari hasil perbandingan yang bersifat *final* antara analisis data dengan standar yang sudah ditetapkan.

4.3.1 Persiapan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini guna membentuk campuran perkerasan yang sudah melalui pengujian bahan. Sehingga, dapat diketahui

karakteristik dari bahan-bahan tersebut. Bahan-bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Agregat kasar (*split*), agregat halus, dan *filler* yang digunakan pada penelitian ini yaitu agregat alami yang dipecahkan, agregat ini berasal dari Clereng, Kabupaten Kulonprogo, Yogyakarta.
2. Aspal yang digunakan pada penelitian ini menggunakan aspal penetrasi 60/70 yang berada di Laboratorium Jalan Raya Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

4.3.2 Persiapan Alat

Pada penelitian ini peralatan yang digunakan sudah tersedia di Laboratorium Perkerasan Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Berikut alat-alat yang digunakan dalam penelitian.

1. Penyaringan agregat berdasarkan ukuran, yaitu saringan (*sieve*) dan mesin penyaring (*sieve shaker machine*).
2. Peralatan yang digunakan pengujian fisik agregat, yaitu saringan standar, mesin *Los Angeles*, *Vibrator*, dan tabung *Sand Equivalent*.
3. Peralatan yang digunakan pengujian fisik aspal, yaitu alat ukur penetrasi aspal, kelarutan aspal, daktilitas aspal, titik lembek aspal, titik nyala, dan titik bakar aspal.
4. Cetakan benda uji berbentuk silinder (*mold*) berdiameter 10 cm (4") dan tinggi 7,5 (3") dilengkapi dengan pelat atas dan leher sambung.
5. Alat uji *Marshall*
 - a. Kepala penekan yang berbentuk lengkung (*breaking head*)
 - b. Cincin penguji yang berkapasitas 2500 kg (5000 *pound*) dengan ketelitian 12,5 kg (25 *pound*) dilengkapi arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm (0,0001")
 - c. Arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm (0,0001")
 - d. Arloji penunjuk kelelahan dengan ketelitian 0,25 mm (0,01") dengan perlengkapannya.

6. *Oven*, alat yang digunakan untuk memanaskan bahan yang dilengkapi dengan pengaturan suhu untuk memanasi sampai $(200 \pm 3)^{\circ}\text{C}$.
7. *Ejector*, alat yang digunakan untuk mengeluarkan benda uji yang telah dipadatkan dari cetakan.
8. *Compactor*, alat yang digunakan untuk penumbuk yang mempunyai permukaan tumbukan rata berbentuk silinder dengan berat 4,536 kg (10 *pound*) dan tinggi jatuh beban 45,7 cm (18").
9. *Waterbath*, digunakan untuk merendam benda uji dengan pengaturan suhu minimum 20°C .
10. Timbangan yang dilengkapi penggantung benda uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gram, timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gram, dan timbangan *digital*.
11. Alat Uji *Indirect Tensile Strength Test*
 - a. Alat ukur tekan (*strip loading*) selebar 0,5 *inch*.
 - b. Arloji pengukuran stabilitas
 - c. Arloji pengukur kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm
12. Perlengkapan penunjang, yaitu kompor, wajan, spatula, sarung tangan karet, panci, kain lap, bak plastik, gelas ukur, termometer, jangka sorong, dan lain-lain.

4.4 Langkah-langkah penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa langkah pengujian guna menentukan nilai kadar aspal yang selanjutnya dapat diperoleh hasil rencana sesuai dengan standar dan ketentuan yang berlaku. Berikut langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini.

4.4.1 Pengujian Agregat

Pengujian ini merupakan proses awal dalam penelitian perkerasan. Uji ini guna memeriksa kesesuaian agregat apakah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI)

atau tidak. Pengujian ini menggunakan bahan uji agregat kasar dan agregat halus. Berikut merupakan pengujian agregat yang dilakukan.

1. Pengujian Penyerapan Air

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan agregat dalam menyerap air yang berpedoman pada SNI 1969 : 2008.

2. Pengujian Berat jenis

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis, berat kering permukaan jenuh, dan berat semu dari agregat yang berpedoman pada SNI 1970 : 2008.

3. Pengujian Kelekatan Aspal pada Agregat

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui daya lekat agregat yang berpedoman pada SNI 2439 : 2011.

4. Pengujian Abrasi (*Los Angeles*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai keausan agregat yang berpedoman pada SNI 2417 : 2008.

5. Pengujian *Sand Equivalent*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kadar debu dan lumpur pada agregat halus yang berpedoman pada SNI 3423 : 2008.

4.4.2 Pengujian Aspal

Pengujian aspal sama dengan pengujian agregat. Aspal berfungsi sebagai bahan pengikat pada suatu agregat, sehingga diperoleh hasil yang telah memenuhi standar yang sudah ditetapkan sebagai bahan campuran dalam suatu perkerasan jalan. Berikut pengujian aspal yang dilakukan.

1. Pengujian Titik Lembek Aspal

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkah kelelehan suatu aspal yang berpedoman pada SNI 06-2434-2011.

2. Pengujian Penetrasi Aspal

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai penetrasi aspal yang nantinya akan digunakan dengan pedoman SNI 2456 : 2011.

3. Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar

Pengujian ini bertujuan untuk memperkirakan temperatur maksimum pemanasan aspal yang akan digunakan sehingga aspal tidak sampai terbakar. Pengujian ini berpedoman pada SNI 2433 : 2011.

4. Pengujian Berat Jenis Aspal

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis campuran antara aspal dan agregat yang nantinya akan mempengaruhi pada tingkat kelekatan aspal dengan pedoman SNI 2411 : 2011.

5. Pengujian Kelarutan dalam *Trichloroethylene (TCE)*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah aspal yang dapat larut dalam *Trichloroethylene* yang berpedoman pada AASHTO T44-14.

6. Pengujian Daktilitas Aspal

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat kohesi pada aspal melalui kemampuan aspal yang bertambah panjang saat ditarik sampai mengalami putus pada proses pengujiannya dengan berpedoman pada SNI 2432 : 2011.

4.4.3 Perencanaan Campuran

Perencanaan campuran dilakukan berdasarkan jenis perkerasan yang digunakan. Penelitian ini menggunakan perkerasan *Stone Matrix Asphalt (SMA)* dengan acuan gradasi berdasarkan persyaratan SNI 8129:2015. Gradasi penyusun campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* adalah grasi senjang (*gap graded*) yang didominasi oleh agregat kasar. Hal ini dilakukan guna mengetahui sifat-sifat material tersebut apakah telah memenuhi persyaratan atau belum sehingga mendapatkan aspal yang baik. Gradasi agregat campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Gradasi Agregat Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*

No.	Ukuran Saringan (mm)	Lolos Saringan (%)	Ideal (%)
1	19	100	100
2	12,5	90-100	95
3	9,5	50-75	62,5
4	4,75	30-50	40
5	2,36	20-30	25
6	0,60	13-25	19
7	0,30	10-20	15
8	0,075	8-13	10,5

(Sumber : SNI 8129:2015)

Setelah perencanaan gradasi agregat, selanjutnya mencari kadar aspal optimum (KAO). Perhitungan kadar aspal optimum rencana dapat dilihat menggunakan Persamaan 4.1 berikut.

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

keterangan:

P_b = kadar aspal perkiraan,

CA = agregat kasar tertahan saringan No. 4,

FA = agregat halus lolos saringan No. 4 dan tertahan No. 200,

Filler = agregat halus lolos saringan No. 200, dan

K = konstanta 0,5 – 1 untuk Lapis Aspal Beton (Laston).

Dari hasil Persamaan 4.1 didapat nilai kadar aspal optimum sebagai berikut.

$$P_b = 0,035 \times (\%CA) + 0,045 \times (\%FA) + 0,18 (\%filler) + K$$

$$P_b = 0,035 \times (60\%) + 0,045 \times (30\%) + 0,18 (10\%) + 1$$

$$P_b = 6,3 \% \text{ dibulatkan menjadi } 6,5\%$$

Dari hasil perhitungan nilai P_b didapatkan sebesar 6,5% terhadap berat total campuran. Pada pengujian ini kadar aspal yang digunakan adalah 5,5%, 6%, 6,5%, 7%,

dan 7,5% terhadap berat total campuran. Berat total campuran untuk setiap benda uji 1200 gram dengan menggunakan bahan ikat aspal pen 60/70.

Kebutuhan agregat pada tiap-tiap aspal 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 5,5 %

No	Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persentase (%)		Berat	
	MM		Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Kumulatif
1	3/4"	19	100	100	100	0	0,00	0
2	1/2"	12,5	90	100	95	5	56,70	56,70
3	3/8"	9,5	50	75	60	35	396,90	453,60
4	No.4	4,75	30	50	40	20	226,80	680,40
5	No. 8	2,36	20	30	25	15	170,10	850,50
6	No.30	0,6	13	25	19	6	68,04	918,54
7	No.50	0,3	10	20	15	4	45,36	963,90
8	No.200	0,075	8	13	10	5	56,70	1020,60
9	<i>Filler</i>				0	10	113,40	1134,00
TOTAL							1134,00	

Tabel 4.3 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6 %

No	Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persentase (%)		Berat	
	MM		Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Kumulatif
1	3/4"	19	100	100	100	0	0,00	0
2	1/2"	12,5	90	100	95	5	56,40	56,40
3	3/8"	9,5	50	75	60	35	394,80	451,20
4	No.4	4,75	30	50	40	20	225,60	676,80
5	No. 8	2,36	20	30	25	15	169,20	846,00
6	No.30	0,6	13	25	19	6	67,68	913,68
7	No.50	0,3	10	20	15	4	45,12	958,80
8	No.200	0,075	8	13	10	5	56,40	1015,20
9	<i>Filler</i>				0	10	112,80	1128,00
TOTAL							1128,00	

Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar 6,5 %

No	Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persentase (%)		Berat	
	MM		Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Kumulatif
1	3/4"	19	100	100	100	0	0,00	0
2	1/2"	12,5	90	100	95	5	56,10	56,10
3	3/8"	9,5	50	75	60	35	392,70	448,80
4	No.4	4,75	30	50	40	20	224,40	673,20
5	No. 8	2,36	20	30	25	15	168,30	841,50
6	No.30	0,6	13	25	19	6	67,32	908,82
7	No.50	0,3	10	20	15	4	44,88	953,70
8	No.200	0,075	8	13	10	5	56,10	1009,80
9	<i>Filler</i>				0	10	112,20	1122,00
TOTAL							1122,00	

Tabel 4.5 Kebutuhan Agregat pada Kadar 7 %

No	Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persentase (%)		Berat	
	MM		Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Kumulatif
1	3/4"	19	100	100	100	0	0,00	0
2	1/2"	12,5	90	100	95	5	55,80	55,80
3	3/8"	9,5	50	75	60	35	390,60	446,40
4	No.4	4,75	30	50	40	20	223,20	669,60
5	No. 8	2,36	20	30	25	15	167,40	837,00
6	No.30	0,6	13	25	19	6	66,96	903,96
7	No.50	0,3	10	20	15	4	44,64	948,60
8	No.200	0,075	8	13	10	5	55,80	1004,40
9	<i>Filler</i>				0	10	111,60	1116,00
TOTAL							1116,00	

Tabel 4.6 Kebutuhan Agregat pada Kadar 7,5 %

No	Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persentase (%)		Berat	
	MM		Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Kumulatif
1	3/4"	19	100	100	100	0	0,00	0
2	1/2"	12,5	90	100	95	5	55,50	55,50
3	3/8"	9,5	50	75	60	35	388,50	444,00
4	No.4	4,75	30	50	40	20	222,00	666,00
5	No. 8	2,36	20	30	25	15	166,50	832,50
6	No.30	0,6	13	25	19	6	66,60	899,10
7	No.50	0,3	10	20	15	4	44,40	943,50
8	No.200	0,075	8	13	10	5	55,50	999,00
9	<i>Filler</i>				0	10	111,00	1110,00
TOTAL							1110,00	

Pada penelitian ini menggunakan metode konvensional dan metode pencampuran dua tahap. Hal ini berpengaruh terhadap jumlah benda uji yang dibutuhkan.

Jumlah benda uji yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 45 buah, yang diantaranya digunakan untuk mencari nilai KAO sebanyak 15 buah dan 30 buah untuk pengujian pada KAO. Jumlah benda uji yang digunakan pada penelitian ini dijelaskan pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.7 Jumlah Benda Uji untuk Mencari Nilai KAO

Jenis Campuran	Kadar Aspal (%)					Jumlah Benda Uji (buah)
	5,5	6	6,5	7	7,5	
<i>Stone Matrix Asphalt</i>	3	3	3	3	3	15

Tabel 4.8 Jumlah Benda Uji untuk Tiap Pengujian pada KAO

Pengujian	Variasi Pencampuran	
	Metode Konvensional	Metode Dua Tahap
	<i>Stone Matrix Asphalt</i>	<i>Stone Matrix Asphalt</i>
<i>Marshall</i>	3	3
<i>IRS</i>	3	3
<i>ITS</i>	3	3
<i>TSR</i>	3	3
<i>Cantabro Loss</i>	3	3
<i>Asphalt Flow Down</i>	3	3
<i>Jumlah</i>	18	18
<i>Total</i>	36	

4.4.4 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji di dilakukan setelah tahap perencanaan campuran. Langkah awal yang dapat dilakukan adalah menyaring agregat guna memisahkan ukuran butiran sesuai dengan nomor ukuran saringan agregat. Penyaringan agregat ini dengan bantuan mesin penyaring (*shieve shaker machine*). Selanjutnya, dilakukan

pembuatan campuran agregat pada masing-masing benda uji dan ditimbang berdasarkan kebutuhan setiap kadar aspal. Campuran agregat aspal ini dibalut dengan plastic agar tidak bercampur dengan campuran agregat yang lain.

Pada penelitian ini menggunakan dua metode pencampuran dalam rangkaian pencampuran antara agregat dengan aspal. Metode pencampuran yang digunakan yaitu konvensional dan dua tahap. Rangkaian pencampuran benda uji berdasarkan dua metode tersebut dijabarkan melalui langkah-langkah sebagai berikut.

1. Memanaskan aspal. Untuk aspal Pen 60/70 dipanaskan hingga mencapai suhu 160°C - 170°C .
2. Pada tahap pencampuran aspal panas dengan agregat panas terdapat perbedaan antara sebelum mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dan setelah mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO). Perbedaan kedua pencampuran tersebut antara lain:

- a. Penentuan nilai KAO

Proses pembuatan benda uji yang digunakan sebelum mendapatkan nilai KAO dibuat dengan menggunakan metode pencampuran konvensional, yaitu dengan mencampurkan agregat kasar, agregat halus, dan *filler* yang telah dipanaskan mencapai suhu 170°C . Setelah itu dicampurkan dengan aspal panas sesuai dengan nilai KAO, kemudian diaduk sampai tercampur merata.

- b. Campuran pada KAO

Setelah KAO diperoleh, selanjutnya dibuat benda uji dengan dua metode pencampuran, yaitu:

- 1) Untuk membandingkan sampel yang digunakan pada dua metode pencampuran, campuran utama dibuat dengan metode pencampuran secara konvensional sama seperti proses pembuatan benda uji penentuan nilai KAO.
- 2) Campuran kedua dibuat dengan metode pencampuran dua tahap dengan tahapan sebagai berikut.

- a) Memanaskan agregat kasar yang sebelumnya telah dipisahkan dengan agregat halus dan *filler* dengan wajan yang berbeda hingga masing-masing agregat mencapai suhu 170°C.
 - b) Mencampurkan agregat kasar terlebih dahulu dengan aspal panas sesuai dengan nilai KAO dan diaduk hingga aspal menutupi seluruh permukaan agregat kasar.
 - c) Setelah itu, dimasukkan agregat halus dan *filler* yang sebelumnya telah dipanaskan. Kemudian diaduk hingga tercampur merata.
3. Membersihkan cetakan benda uji (*mold*) dan mengolesi bagian dalam cetakan dengan minyak pelumas agar pada saat proses mengeluarkan benda uji dari cetakan lebih mudah dan tidak hancur.
 4. Meletakkan selembat kertas minyak sesuai dengan ukuran bagian bawah cetakan, kemudian memasukkan benda uji secara bertahap yaitu tahap pertama memasukkan campuran 1/3 dari volume cetakan dan diratakan dengan spatula sebanyak 25 kali (15 kali pukulan di pinggir, 10 kali pukulan di tengah), kemudian memasukkan campuran hingga 2/3 dari volume cetakan dan diratakan dengan spatula sebanyak 25 kali, setelah itu tahap terakhir memasukkan sisa campuran ke dalam cetakan hingga penuh dan diratakan dengan spatula sebanyak 25 kali dan meletakkan selembat kertas minyak di atas permukaan cetakan.
 5. Meletakkan cetakan benda uji (*mold*) di atas dudukan pada alat penumbuk. Menumbuk sebanyak 75 kali pukulan di sisi pertama dan menumbuk sebanyak 75 kali di sisi kedua.
 6. Mendinginkan benda uji sesudah pemadatan selesai hingga mencapai suhu ruang. Setelah suhu turun, kemudian dilakukan pengeluaran benda uji dari cetakan dengan menggunakan alat *ejector hydraulic pump*, lalu diberi tanda sesuai dengan kadar aspal masing-masing benda uji.

4.4.5 Pengujian Marshall Test

Marshall Test bertujuan untuk memperoleh nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*). Setelah memperoleh hasil dari *Marshall Test*, dilakukan analisis perhitungan untuk mendapatkan nilai kepadatan (*density*), *Void in Mineral Aggregate (VMA)*, *Void in Total Mix (VITM)*, *Void Filled with Asphalt (VFWA)*, dan *Marshall Quotient (MQ)*. *Marshall Test* dijabarkan melalui langkah-langkah sebagai berikut.

1. Menyiapkan benda uji, lalu dibersihkan dari kotoran-kotoran yang masih menempel,
2. Mengukur ketinggian benda uji sebanyak tiga kali pada tempat yang berbeda, lalu hasil pengukuran dirata-rata dengan ketelitian pengukuran 0,01 mm,
3. Benda uji ditimbang untuk mengetahui berat keringnya,
4. Benda uji direndam air dengan suhu ruang selama 20-24 jam, hal ini bertujuan untuk membuat benda uji dalam keadaan jenuh air,
5. Timbang benda uji dengan menggunakan timbangan yang sudah dipasang alat untuk menimbang benda uji di dalam air,
6. Keringkan benda uji dengan kain lap sampai permukaan benda uji tidak terdapat air atau kondisi *Saturated Surface Dry (SSD)*,
7. Timbang benda uji dalam kondisi *Saturated Surface Dry (SSD)*,
8. Rendam benda uji ke dalam bak perendam (*waterbath*) selama 30 menit dengan suhu air $60 \pm 1^{\circ}\text{C}$,
9. Menyiapkan kepala penekan (*test head*), lalu dibersihkan dan diberi minyak pelumas agar kepala penekan dapat meluncur tanpa hambatan,
10. Memasangkan benda uji pada ring dan diletakkan pada piston pendorong,
11. Memasang *flow meter* pada posisi di atas salah satu batang penuntun (*guide road*),
12. Kepala penekan benda uji dinaikkan sehingga menyentuh alas cincin penguji, kemudian diatur pada kedudukan arloji tekan pada angka nol,

13. Pembebanan dimulai dengan kecepatan tetap 50 mm/menit, sehingga pembebanan maksimum tercapai. Pada saat arloji pembebanan berhenti maka dimulai kembali berputar menurun, maka dibaca arloji kelelehannya (*flow*),
14. Setelah pembebanan selesai, benda uji dikeluarkan dari alat uji, dan
15. Hasil yang sudah didapat dilanjutkan dengan analisis perhitungan selanjutnya.

4.4.6 Pengujian *Immersion Test*

Pada pengujian ini memiliki kesamaan dalam proses pengujian *Marshall Test*. Hal yang berbeda adalah perendaman yang dilakukan pada bak perendam (*waterbath*) yaitu selama 24 jam. Pengujian ini dilakukan dengan cara sebagai berikut.

1. Menyiapkan benda uji, lalu dibersihkan dari kotoran-kotoran yang masih menempel,
2. Merendam benda uji yang sudah diangkat dan ditiriskan dari rendaman air suling yang berada pada waktu 24 jam pada suhu ruang, agar benda uji dalam keadaan yang jenuh air,
3. Menimbang benda uji dalam keadaan yang jenuh air,
4. Mengeringkan benda uji dengan cara menggunakan lap untuk mengeringkannya, lalu benda uji ditimbang di dalam air,
5. Merendam benda uji yang berada di dalam *waterbath* dengan suhu yang sudah ditetapkan 60°C selama 24 jam,
6. Melakukan pengujian *Marshall*,
7. Menganalisis hasil dari pengujian dan membuat pembahasan pengujian.

4.4.7 Pengujian *Indirect Tensile Strength*

Pengujian *Indirect Tensile Strength* adalah sebagai berikut.

1. Membuat benda uji dengan nilai KAO yang telah didapatkan dari pengujian *Marshall*,
2. Meletakkan benda uji pada alat uji *Indirect Tensile Strength* untuk dilakukan pengujian,

3. Mengamati pembacaan *dial* dan catat hasilnya, dan
4. Menganalisis hasil pengujian dan dibuat pembahasan pengujian.

4.4.8 Pengujian *Indirect Retained Strength*

Pengujian *Indirect Retained Strength* adalah sebagai berikut.

1. Menyiapkan benda uji yang telah melalui tahapan dari perendaman dalam air pada suhu $60 \pm 1^\circ\text{C}$ dengan durasi waktu pada perendaman 24 jam serta benda uji dengan durasi perendaman 2 jam dalam air pada suhu $25 \pm 1^\circ\text{C}$.
2. Melakukan penimbangan terhadap benda uji yang telah disiapkan.
3. Mengolah data dengan membandingkan antara benda uji tersebut.
4. Membuat pembahasan serta menyusun kesimpulan dari hasil uji penelitian.

4.4.9 Pengujian *Tensile Strength Ratio*

Pengujian *Tensile Strength Ratio* adalah sebagai berikut.

1. Membuat benda uji dengan nilai KAO yang telah didapatkan dari pengujian *Marshall*,
2. Untuk benda uji *TSR*, benda uji direndam terlebih dahulu di dalam bak perendam (*waterbath*) dengan suhu air $60 \pm 1^\circ\text{C}$ selama 24 jam,
3. Meletakkan benda uji pada alat uji *Indirect Tensile Strength* untuk dilakukan pengujian,
4. Mengamati pembacaan dial dan catat hasilnya, dan
5. Menganalisis hasil pengujian dan dibuat pembahasan pengujian.

4.4.10 Pengujian *Cantabro Loss*

Pengujian *Cantabro Loss* adalah sebagai berikut.

1. Membuat benda uji dengan nilai KAO yang telah didapatkan dari pengujian *Marshall*,
2. Menimbang benda uji dengan timbangan sebelum dilakukan pengujian,
3. Memasukkan benda uji ke dalam mesin *Los Angeles*,
4. Menjalankan mesin *Los Angeles* dan mengatur putaran mesin sebanyak 300 putaran,

5. Menimbang benda uji setelah pengujian, dan
6. Menganalisis hasil pengujian dan dibuat pembahasan pengujian.

4.4.11 Pengujian Asphalt Flow Down (AFD)

Pengujian *Asphalt Flow Down* adalah sebagai berikut.

1. Cetakan berupa nampan dengan ukuran permukaan 20x40 cm dilapisi dengan kertas aluminium foil atau kertas/karton, berat cetakan + kertas tersebut ditimbang dan dicatat (m1).
2. Selanjutnya dibuat campuran beraspal seberat ± 1200 gr dan setelah tercampur merata dituangkan diatas cetakan yang telah dilapisi sebelumnya, permukaannya diratakan dan dicatat beratnya (m2).
3. Cetakan yang telah berisi campuran aspal tersebut dimasukkan kedalam oven dengan suhu $\pm 160^{\circ}C$ semalam ± 60 menit.
4. Cetakan dikeluarkan dari dalam oven dan campuran beraspal tersebut dituangkan secara cepat, kemudian berat cetakan berikut campuran beraspal yang melekat pada aluminium foil/kertas ditimbang dan dicatat (m3).
5. Prosedur diulangi sesuai kebutuhan.

4.5 Analisis Data

Analisis data yang dilakukan setelah melakukan pengujian pada benda uji. Adapun analisis yang dilakukan sebagai berikut.

1. Analisis Karakteristik pengujian Marshall

Dari pengujian *Marshall* diperoleh data sebagai berikut.

- a. Berat benda uji sebelum direndam (gram),
- b. Berat benda uji di dalam air (gram),
- c. Berat benda uji dalam keadaan jenuh (gram),
- d. Tebal benda uji rata-rata (cm),
- e. Pembacaan *dial* stabilitas (Kg), dan
- f. Pembacaan *dial* kelelehan (flow) (mm).

Nilai-nilai karakteristik *Marshall* dapat dihitung dengan metode Persamaan 4.2 dan Persamaan 4.3 sebagai berikut.

a. Berat jenis Aspal

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

keterangan:

A = berat piknometer dengan penutup (gram),

B = berat piknometer berisi air (gram),

C = berat piknometer berisi aspal (gram), dan

D = berat piknometer berisi aspal dan air (gram).

b. Berat jenis Agregat

$$\text{BJ Agregat} = \frac{(A. F1)+(B. F2)}{100} \quad (4.3)$$

keterangan:

A = persentase agregat kasar (%),

B = persentase agregat halus,

F1 = berat jenis agregat kasar, dan

F2 = berat jenis agregat halus.

c. Nilai-nilai stabilitas menggunakan Persamaan 3.1

d. Kelelehan (*flow*) dibaca dari pembacaan arloji kelelehan.

e. *Void in Mineral Aggregate (VMA)* menggunakan Persamaan 3.6

f. *Void in Total Mix (VITM)* menggunakan Persamaan 3.7

g. *Void Filled with Asphalt (VFWA)* menggunakan Persamaan 3.9

h. *Marshall Quotient (MQ)* menggunakan Persamaan 3.10

i. Analisis Kadar Aspal Optimum (KAO)

2. Pemilihan KAO pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* pada campuran *SMA* ditentukan pada karakteristik pada hasil pengujian *Marshall* yang memenuhi kriteria parameter berikut ini.

a. *Void in Total Mix (VITM)* dengan syarat minimum 4% dan maksimum 5%.

- b. *Void in Mineral Aggregate (VMA)* dengan syarat minimum 17%.
- c. Kadar aspal campuran dengan syarat minimum 6%.
- d. Pelelehan (*flow*) dengan syarat minimum 2 mm dan maksimum 4,5 mm

Berdasarkan hasil pengujian *Marshall* tersebut telah memenuhi parameter, maka diperoleh batas maksimum dan minimum. Nilai kadar aspal optimum didapatkan dari nilai tengah antara batas maksimum dan batas optimum.

3. Analisis Uji Perendaman (*Immersion Test*)

Nilai *Index of Retained Strength* diperoleh dari hasil *Immersion Test* kemudian analisis data menggunakan Persamaan 3.10

4. Analisis Uji *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Nilai *Indirect Tensile Strength* adalah kuat tarik maksimum, yang dihitung dari puncak beban kemudia diolah menggunakan Persamaan 3.11

5. Analisis Uji *Indirect Retained Strength (IRS)*

Nilai *Indirect Retained Strength* adalah menunjukkan nilai benda uji setelah mengalami proses perendaman menggunakan Persamaan 3.12

6. Analisis Uji *Tensile Strength Ratio (TSR)*

Nilai *Tensile Strength Ratio* adalah kuat tarik maksimum untuk benda uji conditioned kemudian analisis data menggunakan Persamaan 3.13.

7. Analisis Uji *Cantabro Loss*

Nilai *Cantabro Loss* adalah uji keausan menggunakan mesin *Los Angeles* kemudian analisis data menggunakan Persamaan 3.14.

8. Analisis Statistika *Anova*

Pada penelitian ini menggunakan metode analisis *Anova* yang bertujuan untuk mengetahui perubahan yang terjadi akibat dari perbedaan metode pencampuran secara konvensional dan secara dua tahap pada perkerasan *Stone Matrix Asphalt (SMA)*.

Sehingga hipotesis matematika yang digunakan pada analisis data penelitian ini adalah Persamaan 4.4 dan Persamaan 4.5 sebagai berikut.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \quad (4.4)$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \quad (4.5)$$

Keterangan:

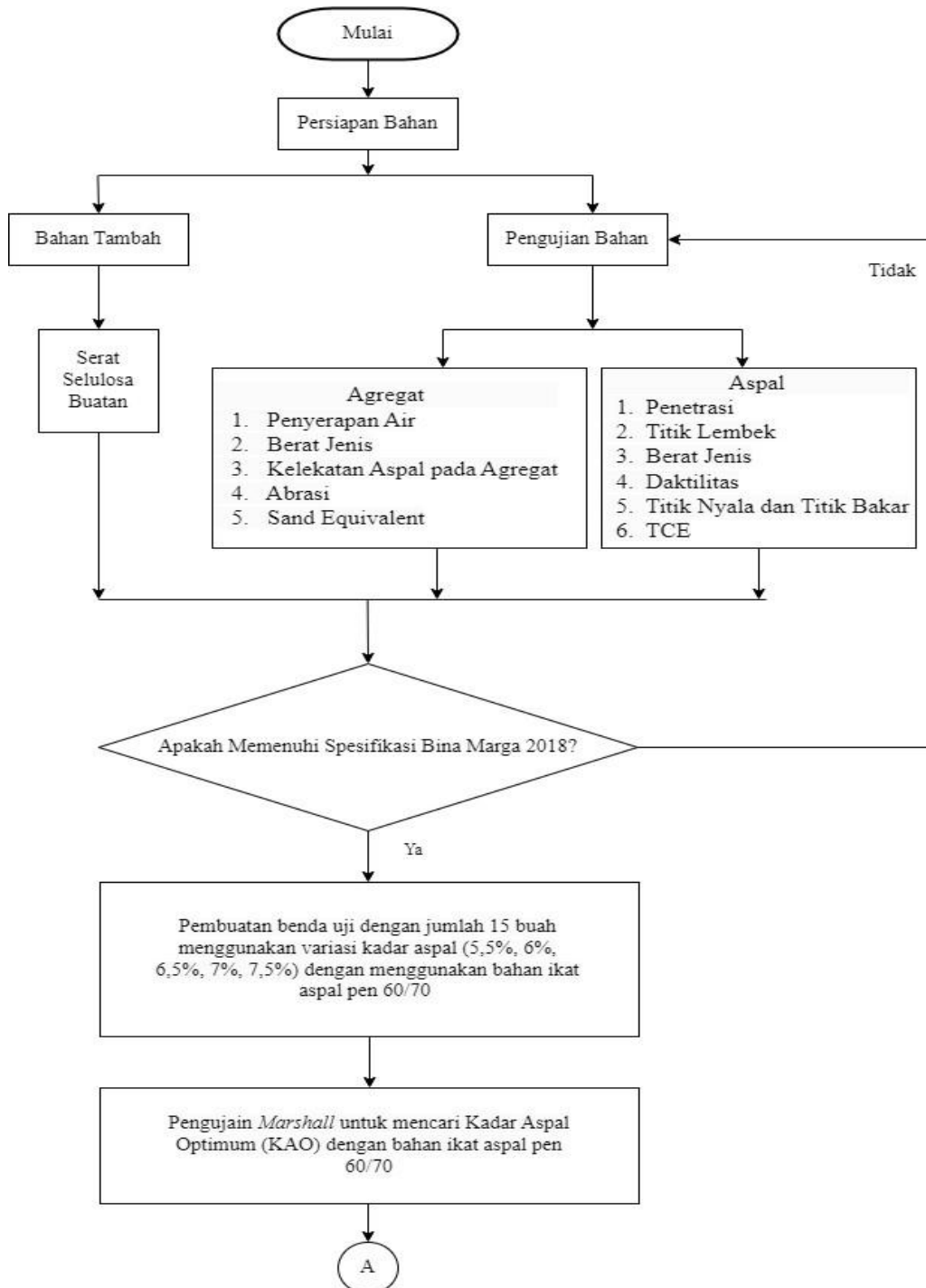
H_0 = tidak ada perbedaan yang signifikan terhadap karakteristik campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 akibat adanya perbedaan metode pencampuran, dan

H_1 = ada perbedaan signifikan terhadap karakteristik campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* dengan aspal bahan ikat aspal Pen 60/70 akibat adanya perbedaan metode pencampuran.

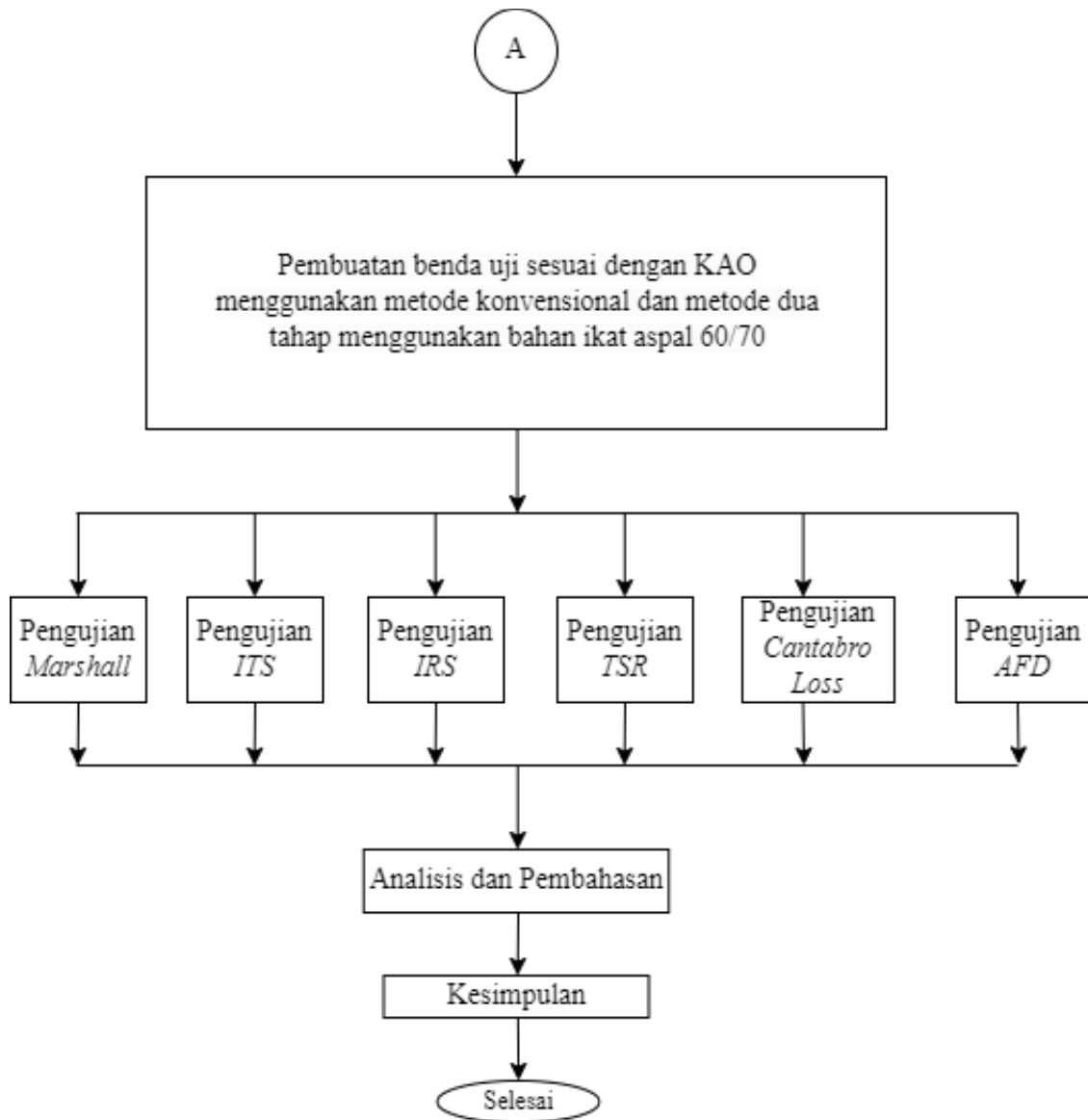
Jika nilai rasio uji yang didapat berada di daerah penerimaan maka H_0 diterima, begitu juga sebaliknya jika nilai rasio uji yang didapat berada di daerah penolakan maka H_1 diterima dan H_0 ditolak.

4.6 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir pada penelitian ini disajikan pada Gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4.1 Bagan alir penelitian



Lanjutan Gambar 4.1 Bagan alir penelitian

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Pengujian perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap kinerja *Stone Matrix Asphalt (SMA)* dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, pengujian ini meliputi sifat fisik material agregat dan aspal kemudian mencari kadar aspal optimum dan masing-masing bahan ikat aspal serta melakukan pengujian menggunakan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap. Adapun hasil yang diperoleh untuk setiap pengujian.

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat dan *Filler*

Karakteristik agregat dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII, Yogyakarta dan berpedoman pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian agregat kasar, agregat halus, dan *filler* yang diperoleh dari Clereng, Kulonprogo, Yogyakarta. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.1, Tabel 5.2, dan Tabel 5.3.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Berat Jenis	2,63	Min. 2,5	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	2,22	Maks. 3	Memenuhi
3	Penyerapan Agregat Terhadap Aspal (%)	95,5	Min. 95	Memenuhi
4	Keausan dengan Mesin <i>Los Angles</i> (%)	16,62	Maks. 40	Memenuhi

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Berat Jenis	2,81	Min. 2,5	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	1,31	Maks. 3	Memenuhi
3	<i>Sand Equivalent</i> (%)	71,24	Min. 95	Memenuhi

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Filler

No.	Jenis Pengujian	Jenis	Hasil
1	Berat Jenis	Debu Batu	2,55

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Aspal yang digunakan pada penelitian ini menggunakan aspal penetrasi 60/70 yang berada di Laboratorium Jalan Raya Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Serat selulosa yang digunakan pada penelitian ini merupakan serat selulosa buatan yang berasal dari PT. SARANARAYA REKACIPTA JAKARTA dengan menggunakan aspal penetrasi 60/70. Berikut Tabel 5.4 menunjukkan hasil pengujian aspal dan selengkapnyaterdapat di Lampiran.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Aspal

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Berat Jenis	1,06	$\geq 1,0$	Memenuhi
2	Penetrasi	65,5	60-70	Memenuhi
3	Daktilitas	165,0	≥ 100	Memenuhi
4	Titik Nyala	344,0	≥ 232	Memenuhi
5	Titik Bakar	349,0	≥ 225	Memenuhi
6	Kelarutan TCE	99,7	≥ 99	Memenuhi
7	Titik Lembek	48,0	≥ 48	Memenuhi

5.1.3 Hasil Pengujian *Marshall Test* Pencampuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

KAO dapat diperiksa dengan menggunakan pengujian *Marshall* untuk mendapatkan nilai karakteristik *Marshall* yang berupa stabilitas (*stability*), kelelahan

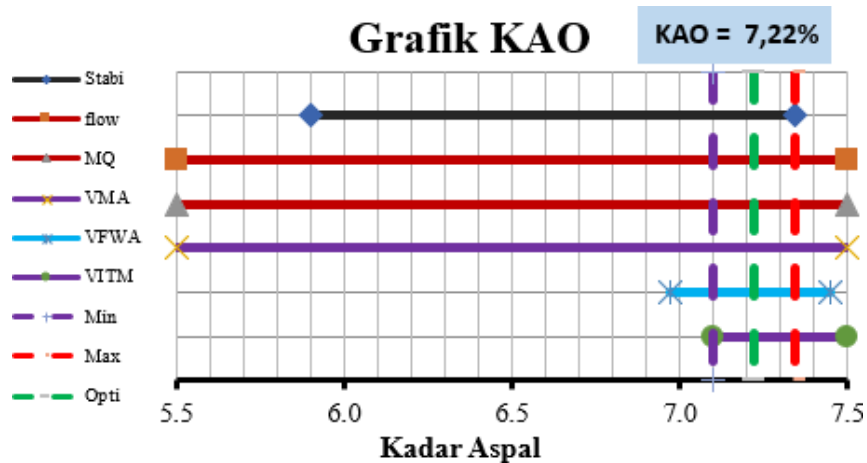
(*flow*), kepadatan (*density*), *VMA* (*Void in Mineral Aggregate*), *VITM* (*Void in the Total Mix*), *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*), dan *MQ* (*Marshall Quotient*) dari pencampuran *SMA* dengan bahan ikat aspal Pen 60/70.

Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dijadikan acuan dalam penentuan kadar aspal optimum pada pencampuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* dengan kriteria parameter yaitu nilai Stabilitas minimum 750kg, nilai *flow* minimum 2 mm, nilai *density* 4,5 mm, nilai *VMA* minimum 17%, nilai *VITM* minimum 4% sampai dengan maksimum 5%, nilai *VFWA* minimum 76, nilai *MQ* minimum 200 dan kadar aspal campuran efektif minimum 6%. Hasil pengujian *Marshall* yang dilakukan telah memenuhi seluruh kriteria yang telah disebutkan sebelumnya akan diperoleh nilai batas maksimum dan batas minimum. Selanjutnya, nilai KAO didapatkan dari nilai tengah antara batas maksimum dan minimum. Hasil pengujian *Marshall* dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Kadar Aspal Optimum untuk Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dari hasil Pengujian Marshall

No.	Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VFWA (%)	VITM (%)	VMA (%)	MQ (kg/mm)	Density (gr/cc)
1	5,5	577	2,88	50,67	10,90	22,07	201,03	2,150
2	6,0	899	263	56,19	9,60	21,89	342,33	2,166
3	6,5	704	2,93	62,25	8,22	21,64	247,95	2,185
4	7,0	967	2,66	72,96	5,50	20,28	37187	2,234
5	7,5	623	2,44	78,61	4,36	20,28	253,57	2,246
	Spesifikasi Umum Bina Marga 2018	> 750	2-4,5	76-82	3-5	> 17	> 200	>2,5

Berdasarkan Tabel 5.5 diatas, dapat diperoleh batas minimum dan maksimum guna mencari KAO seperti yang tertera pada gambar 5.1.



Gambar 5.1 Kadar Aspal Optimum Aspal Pen 60/70

Berikut merupakan rekapitulasi nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang diperoleh disajikan pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Nilai Kadar Aspal Optimum

Jenis Aspal	Kadar Aspal Minimum (%)	Kadar Aspal Maksimum (%)	Kadar Aspal Optimum (%)
Aspal Pertamina Pen 60/70	7,10	7,34	7,22

Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat ditentukan dengan mencari nilai tengah dari batas maksimum dan batas minimum pada aspal rencana sesuai dengan persyaratan berdasarkan nilai stabilitas (*stability*), kelelehan (*flow*), kepadatan (*density*), *Voids in Mineral Aggregate (VMA)*, *Voids in Total Mix (VITM)*, *Voids Filled with Asphalt (VFWA)*, dan *Marshall Quotient (MQ)*. Berdasarkan pengujian ini selanjutnya dapat diperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 7,085% terhadap berat total campuran.

5.1.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal Optimum (KAO)

Setelah memperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO), kemudian dapat dilakukan perhitungan untuk menentukan kebutuhan agregat pada Kadar Aspal Optimum (KAO) yang dapat dijadikan acuan dalam pembuatan benda uji yang digunakan. Kebutuhan agregat pada Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Kebutuhan Agregat pada Campuran dengan Kadar Aspal Optimum 7,22%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan	
in	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Kumulatif
3/4"	19	100	100	100	0	0.00	0
1/2"	12.5	90	100	95	5	55.80	55.80
3/8"	9.5	50	75	60	35	390.60	446.40
No.4	4.75	30	50	40	20	223.20	669.60
No. 8	2.36	20	30	25	15	167.40	837.00
No.30	0,6	13	25	19	6	66.96	903.96
No.50	0,3	10	20	15	4	44.64	948.60
No.200	0,075	8	13	10	5	55.80	1004.40
<i>Filler</i>				0	10	111.60	1116.00

5.1.5 Hasil Pengujian Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* pada Kadar Aspal Optimum (KAO)

Hasil pengujian campuran *SMA* pada KAO dengan menggunakan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap meliputi pengujian *Marshall Test*, *Index of Retained Strength (IRS)*, Indeks Durabilitas (*Durability*), *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss* dan *Asphalt Flow Down (AFD)* dapat dilihat pada Tabel 5.8 sampai Tabel 5.14.

Tabel 5.8 Hasil Pengujian *Marshall Test* Menggunakan Dua Metode Pencampuran dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70

Kadar Aspal(%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density
							(gr/cc)
Konvensional	1037.6508	2.5	412.21	4.44	76.85	19.17	2.2257
Dua Tahap	1056.7679	3.1	336.99	4.28	77.56	19.03	2.2231
Spesifikasi Umum Bina Marga 2018	>750	2-4.5	>200	4-5	76-82	>17	>2

Tabel 5.9 Hasil Pengujian *Index of Retained Strength (IRS)* Menggunakan Dua Metode Pencampuran

Metode Pencampuran	Stabilitas 30 Menit (kg)	Stabilitas 24 Jam (kg)	<i>Index of Retained Strength (%)</i>
Konvensional	1037.65	578.54	55.76
Dua Tahap	1056.77	757.53	71.68

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Indeks Durabilitas dengan Dua Metode Pencampuran

Metode Pencampuran	Indeks Kekuatan Sisa (%)	Indeks Durabilitas Pertama (%)	Indeks Durabilitas Kedua (%)
Konvensional	55,76	1,883	21,662
Dua Tahap	71,68	1,205	13,863

Tabel 5.11 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* Menggunakan Dua Metode Pencampuran

Metode Pencampuran	<i>Indirect Tensile Strength (kg/cm²)</i>
Konvensional	14,57
Dua Tahap	14,73

Tabel 5.12 Hasil Pengujian *Tensile Strength Ratio (TSR)* Menggunakan Dua Metode Pencampuran

Metode Pencampuran	<i>Tensile Strength Ratio (%)</i>
Konvensional	79,18
Dua Tahap	85,57

Tabel 5.13 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* Menggunakan Dua Metode Pencampuran

Metode Pencampuran	<i>Cantabro Loss</i> (%)
Konvensional	2,39
Dua Tahap	2,17

Tabel 5.14 Hasil Pengujian *Asphalt Flow Down (AFD)* Menggunakan Dua Metode Pencampuran

Metode Pencampuran	<i>Asphalt Flow Down</i> (%)
Konvensional	0,29
Dua Tahap	0,17

5.1.6 Hasil Analisis Statistik *T-Test*

Statistik Anova memperoleh hasil analisis berupa data uji yang mencakup karakteristik *Marshall Test*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Index of Rentaied Strength (IRS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down* melalui metode pencampuran dua tahap dan metode pencampuran konvensional pada karakteristik campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*. Berikut data hasil rekapitulasi analisis statik menggunakan anova dapat dilihat pada Tabel 5.15 dan Tabel 5.16.

Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Uji Statistik *T-Test* Untuk Pengaruh Metode Dua dan Metode Konvesional Tahap Terhadap Karakteristik *Marshall Test*

Parameter	Keterangan	Hasil
Stabilitas	H_0 ditolak	Signifikan
<i>Flow</i>	H_0 ditolak	Signifikan
<i>Density</i>	H_0 ditolak	Signifikan
<i>VMA</i>	H_0 ditolak	Signifikan
<i>VITM</i>	H_0 ditolak	Signifikan
<i>VFWA</i>	H_0 ditolak	Signifikan
<i>MQ</i>	H_0 diterima	Tidak Signifikan

Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Uji Statistik *T-Test* Untuk Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Index of Rentaied Strength (IRS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down (AFD)*

Parameter	Keterangan	Hasil
<i>ITS</i>	H_0 diterima	Tidak Signifikan
<i>IRS</i>	H_0 ditolak	Signifikan
<i>IDP</i>	H_0 ditolak	Signifikan
<i>IDK</i>	H_0 ditolak	Signifikan
<i>TSR</i>	H_0 diterima	Tidak Signifikan
<i>Cantabro</i>	H_0 ditolak	Signifikan
<i>AFD</i>	H_0 diterima	Tidak Signifikan

5.2 Pembahasan

5.2.1 Karakteristik Agregat Kasar

Pembahasan untuk pengujian karakteristik agregat kasar yang digunakan adalah sebagai berikut ini.

1. Berat Jenis Agregat

Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu meteral terhadap air pada suhu tertentu. Data berat jenis yang diperiksa adalah berupa berat uji dalam keadaan basah jenuh (BJ), berat benda dalam air (BA), dan berat benda uji dikering oven (BK). Dan pada hasil pengujian berat jenis agregat kasar pada penelitian ini didapatkan sebesar 2,63 gr/cm² yang memenuhi persyaratan SNI 1970:2008 yaitu > 2,5 gr/cm².

2. Penyerapan Air oleh Agregat

Penyerapan air oleh agregat adalah tingkat kemampuan suatu bahan dalam menyerap air, rongga atau pori agregat. Pada penelitian yang dilakukan di dapatkan hasil penyerapan agregat terhadap air sebesar 2,22% Dari hasil yang di dapatkan diketahui bahwa penyerapan air oleh agregat telah memenuhi persyaratan SNI 1969:2008 yaitu < 3%.

3. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Kelekatan agregat terhadap aspal adalah persentase luas permukaan batuan yang tertutup aspal terhadap luas keseluruhan permukaan. Pada pengujian ini didapatkan hasil sebesar 95,5%, dan artinya kelekatan agregat terhadap aspal pada penelitian ini telah memenuhi persyaratan SNI 2439:2011 yaitu $> 95\%$.

4. Abrasi menggunakan Mesin *Los Angeles*

Mesin *Los Angeles* digunakan dalam pengujian abrasi pada agregat kasar. Pengujian ini untuk memperoleh nilai keausan agregat akibat abrasi yang terjadi. Perhitungan dilakukan dengan hasil dari perbandingan antara berat bahan yang aus mampu lolos saringan No.12 terhadap berat semula. Pada pengujian ini memperoleh hasil sebesar 16,62%, yang dapat diartikan memenuhi persyaratan SNI 2417:2008 yaitu $< 40\%$.

5.2.2 Karakteristik Agregat Halus

Pembahasan untuk pengujian karakteristik agregat kasar yang digunakan adalah sebagai berikut ini.

1. Berat Jenis Agregat

Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu material terhadap air pada suhu tertentu. Data berat jenis yang diperiksa adalah berupa berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ), berat benda dalam air (BA), dan berat benda uji dikering oven (BK). Dan pada hasil pengujian berat jenis agregat kasar pada penelitian ini didapatkan sebesar 2,81 gr/cm², yang artinya telah memenuhi persyaratan spesifikasi SNI 1970:2008 yaitu $> 2,5$ gr/cm².

2. Penyerapan Air oleh Agregat

Penyerapan air oleh agregat adalah tingkat suaru bahan dalam menyerap air, rongga atau pori agregat. Pada penelitian ini di dapatkan hasil penyerapan agregat terhadap air sebesar 1,31% Dari hasil yang di dapatkan bahwa penyerapan air oleh agregat telah memenuhi persyaratan SNI 1969:2008 yaitu $< 3\%$.

3. *Sand Equivalent*

Sand Equivalent adalah pengujian ini untuk mengetahui nilai kadar debu dan lumpur pada agregat halus. Hasil pengujian ini pada agregat halus didapatkan sebesar 91,98% Dan dapat diketahui agregat halus yang digunakan sangat bersih dan terbebas dari kotoran dan lumpur. Nilai *Sand Equivalent* memenuhi persyaratan SNI 3423:2008 yaitu $> 95\%$.

4. *Filler*

Filler adalah agregat halus yang telah lolos saringan No. 200. Pada penelitian ini digunakan *filler* abu batu.

5.2.3 Karakteristik Aspal

Pembahasan terhadap karakteristik aspal Pen 60/70 yang digunakan sebagai bahan ikat pada campuran *Stone Matrix Asphalt* dengan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap adalah sebagai berikut.

1. Berat Jenis

Berat jenis aspal diperoleh dari hasil perbandingan antara volume aspal dan volume air. Nilai berat jenis aspal sangat berpengaruh terhadap pertimbangan dalam merancang pencampuran agregat dan aspal, terutama dalam penentuan kadar aspal. Hasil pengujian berat jenis aspal pada pengujian ini menunjukkan nilai sebesar 1,06 gr/cc Nilai tersebut telah memenuhi persyaratan SNI 2411:2011 yaitu $\geq 1,0$ gr/cc.

2. Penetrasi Aspal

Nilai penetrasi aspal menunjukkan tingkat kekerasan pada aspal, semakin rendah nilai penetrasi maka semakin keras aspal tersebut. Hasil pengujian ini menunjukkan nilai penetrasi aspal di suhu 25°C sebesar 65,5 mm, yang telah memenuhi persyaratan SNI 2456:2011 yaitu antara 60 mm sampai 70 mm.

3. Daktilitas Aspal

Nilai daktilitas aspal menunjukkan tingkat kekenyalan pada aspal. Nilai daktilitas akan mempengaruhi nilai fleksibilitas campuran, fleksibilitas campuran ini merupakan kemampuan suatu campuran dalam menahan beban yang akan diterima tanpa mengalami kerusakan. Hasil pengujian ini menunjukkan nilai daktilitas aspal

sebesar 165cm Nilai tersebut telah memenuhi persyaratan SNI 2432:2011 yaitu ≥ 100 cm.

4. Titik Nyala Aspal

Nilai titik nyala aspal menunjukkan batas temperatur di mana aspal mulai menyala singkat dan memercikan api. Pengujian ini dilakukan karena adanya sifat aspal yang *thermoplastic* atau kekentalan aspal yang dapat berubah-ubah sesuai perubahan suhu. Hasil pengujian titik nyala aspal pada penelitian ini menunjukkan nilai titik nyala aspal sebesar 344°C, tersebut telah memenuhi persyaratan SNI 2433:2011 yaitu $\geq 232^\circ\text{C}$.

5. Titik Bakar Aspal

Nilai titik bakar aspal menunjukkan batas temperatur di mana aspal mulai menimbulkan api yang terlihat menyala ± 5 detik pada permukaan aspal. Pengujian ini dilakukan karena adanya sifat aspal yang *thermoplastik* atau kekentalan aspal yang dapat berubah-ubah sesuai perubahan suhu. Hasil pengujian titik bakar aspal pada penelitian ini menunjukkan nilai titik bakar aspal sebesar 349°C. Nilai tersebut telah memenuhi persyaratan SNI 2433:2011 yaitu $\geq 232^\circ\text{C}$.

6. Kelarutan dalam *Tetrachloro Ethylene (TCE)*

Nilai kelarutan aspal dalam *TEC* menunjukkan persentase jumlah aspal yang larut dalam *TEC* yang akan berpengaruh terhadap ikatan aspal dan batuan. Hasil pengujian *TEC* diperoleh pada penelitian ini sebesar 99,7%, yang telah memenuhi persyaratan AASHTO T44-14 yaitu $\geq 99\%$.

7. Titik Lembek

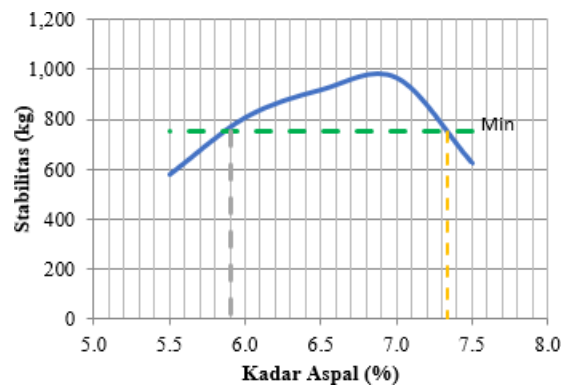
Nilai yang diperoleh dari titik lembek menunjukkan batas temperature aspal mulai menjadi lunak atau lembek. Hasil titik lembek dari penelitian ini sebesar 48°C yang telah memenuhi persyaratan SNI 2434:2011 yaitu sebesar $\geq 48^\circ\text{C}$.

Hasil pada pengujian karakteristik aspal telah memenuhi persyaratan sehingga layak untuk digunakan sebagai penelitian.

5.2.4 Tinjauan Karakteristik *Marshall* Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* untuk Mendapatkan Kadar Aspal Optimum

1. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas merupakan tingkat kemampuan lapis perkerasan dalam menahan beban lalu lintas sampai mengalami deformasi atau kelelahan plastis. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh kadar aspal dan terus meningkat sampai batas tertentu yang disebut batas optimum. Kemudian turun setelah melampaui batas optimum. Gambar 5.2 yang merupakan grafik perbandingan nilai stabilitas dan kadar aspal pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*.



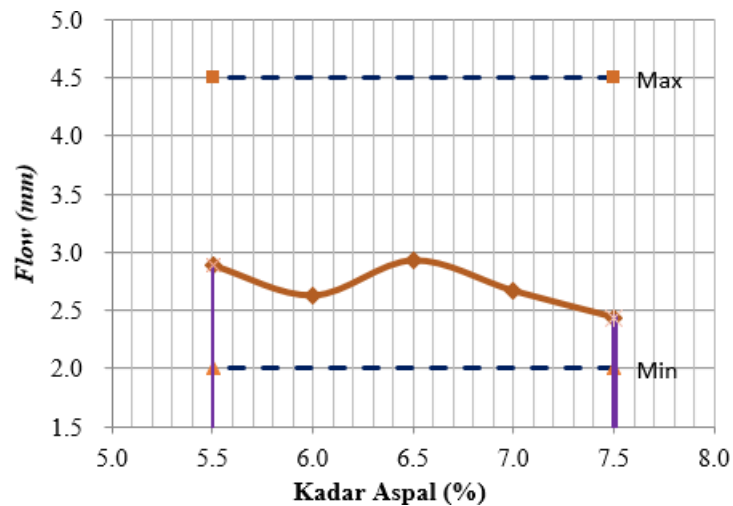
Gambar 5.2 Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas

Berdasarkan Gambar 5.2 dapat disimpulkan bahwa nilai stabilitas akan meningkat sampai mencapai titik maksimumnya. Kemudian, akan mengalami penurunan sejalan dengan meningkatnya persentase kadar aspal. Hal ini disebabkan oleh perubahan fungsi aspal, yang berfungsi sebagai pengikat selanjutnya berubah menjadi pelicin karena penggunaan kadar aspal yang terlalu banyak. Hal ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Hidayat (2021). berada di atas minimum yang disyaratkan menurut Bina Marga 2018 yaitu nilai stabilitas > 750 .

2. *Flow*

Flow merupakan nilai penurunan karena adanya beban sampai dengan batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan mm setara dengan 0,01 *inch*. Apabila campuran mengalami kelelahan tinggi, maka campuran akan mudah berdeformasi. Berlaku

sebaliknya, jika nilai kelelehan rendah, maka campuran akan mudah mengalami retak. Gambar 5.3 merupakan grafik nilai kelelehan guna mencari kadar aspal optimum (KAO) pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*.



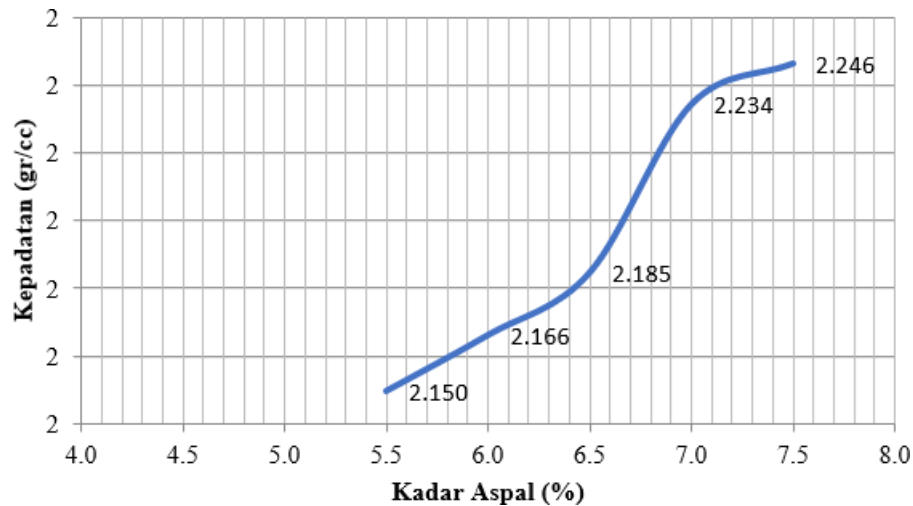
Gambar 5.3 Nilai Kelelehan Guna mencari Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berdasarkan Gambar 5.3 dapat disimpulkan bahwa pengujian nilai nilai kelelehan yang diperoleh keseluruhannya memenuhi persyaratan yaitu antara 2 mm sampai 4,5 mm menurut Bina Marga 2018.

3. Kepadatan (*Density*)

Nilai *density* merupakan tingkat kepadatan berupa nilai berat volume suatu perkerasan agregat dan aspal. Apabila nilai *density* semakin tinggi maka campuran mampu menahan beban lebih baik karena rongga di dalam campuran dapat mengecil dan terjadi gesekan antar agregat yang akan membesar. Nilai *density* yang tergolong tinggi juga dapat membuat campuran lebih kedap udara dan air sehingga campuran akan sulit

teroksidasi. Gambar 5.4 menunjukkan grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *density* pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*.

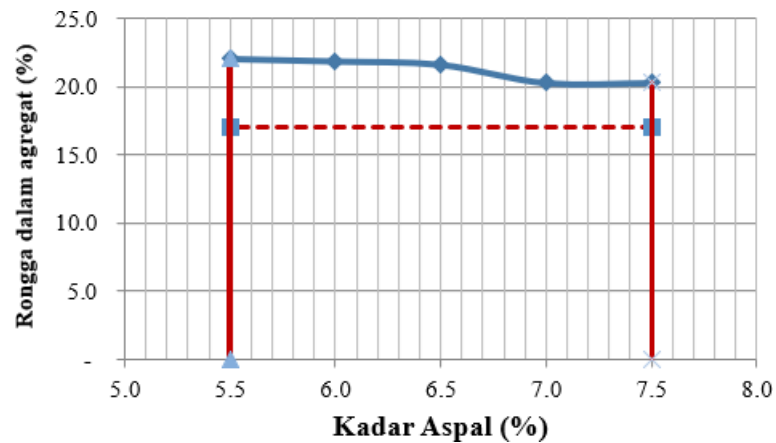


Gambar 5.4 Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai *Density*

Berdasarkan Gambar 5.4 dapat disimpulkan bahwa nilai *density* mengalami kenaikan yang cukup signifikan. dengan peningkatan ini disebabkan oleh adanya penambahan kadar aspal dalam campuran tersebut. Penambahan ini menyebabkan campuran yang digunakan lebih rapat dan padat. Rapatnya dan padat suatu campuran memberikan kemampuan campuran tersebut cenderung lebih baik dalam menahan beban lalu lintas. Hal ini sejalan dengan yang disyaratkan dalam Bina Marga 2018 yaitu $> 2, \text{ gr/cc}$.

4. *VMA (Void in Mineral Agregate)*

VMA merupakan rongga udara antar butiran agregat dalam campuran agregat yang telah dipadatkan. *VMA* juga dapat disebut sebagai ruang untuk menampung aspal dan sebagai rongga yang dibutuhkan dalam campuran agregat aspal. Berikut Gambar 5.5 yang menunjukkan grafik hubungan kadar aspal dan nilai *VMA* pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*.



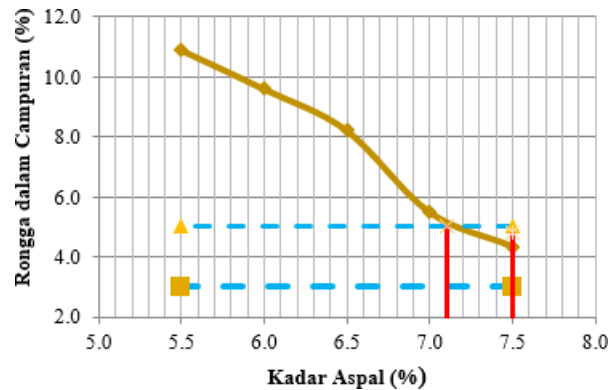
Gambar 5.5 Hubungan antara Nilai VMA Campuran dengan Kadar Aspal

Berdasarkan Gambar 5.5 dapat disimpulkan bahwa nilai *VMA* mengalami penurunan yang tidak terlalu signifikan. Hal ini tidak sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hidayat (2019). Dapat dilihat pula pada grafik yang tertera diatas bahwa persentase rongga dalam agregat pengujian seluruhnya berada di atas batas minimum. Hal ini sesuai dengan persyaratan spesifikasi yaitu pada kadar aspal optimum 7%, nilai *VMA*nya adalah $>17\%$. Dengan begitu, pengujian yang telah dilakukan sudah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018.

5. *VITM (Void In Total Mix)*

VITM adalah persentase dari rongga udara yang ada di dalam keseluruhan campuran agregat aspal yang sudah dipadatkan. Nilai dari *VITM* ini mengacu pada karakteristik campuran yang tertahan oleh deformasi plastis. Jika nilai *VITM* terlalu rendah dapat memicu ketidakstabilan dan terjadi *flow* plastis. Berlaku juga sebaliknya, jika nilai *VITM* terlalu tinggi dapat memicu campuran menjadi *porous* yang berdampak pada campuran akan mudah mengalami oksidasi dan deformasi plastis. Gambar 5.6

berikut merupakan grafik hubungan pada campuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA) antara nilai *VITM* dengan kadar aspal.



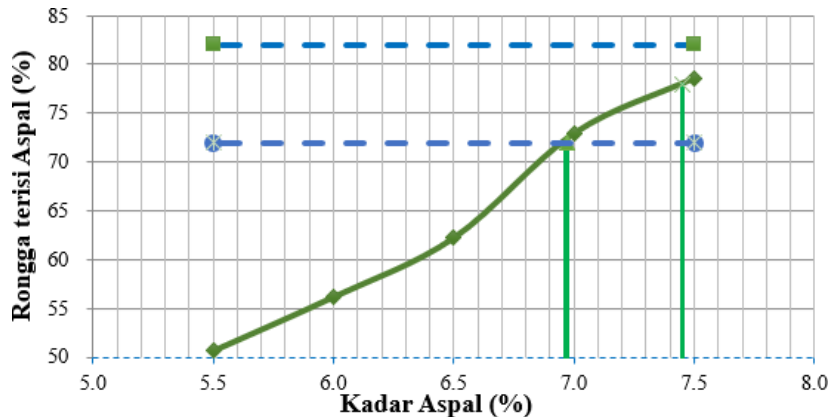
Gambar 5.6 Hubungan antara Nilai *VITM* dengan Kadar Aspal

Berdasarkan Gambar 5.6 Menunjukkan bahwa hubungan antara nilai *VITM* dengan kadar aspal berbanding terbalik. Semakin tingginya persentase dari kadar aspal dengan berlaku sebaliknya yaitu rendahnya nilai *VITM*. Hal ini selaras dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hidayat (2021) yang mengalami penurunan pada kasar aspal. Namun, pada kadar aspal 7% melebihi dari spesifikasi yang disyaratkan menurut Bina Marga 2018 yang mana nilai *VITM* minimal sebesar 3% dan maksimal sebesar 5%. Hal ini dapat menyebabkan oksidasi antara agregat dengan aspal. Selaian itu, rongga dalam campuran yang cenderung besar juga dapat mengurangi keawetannya.

6. *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*)

VFWA merupakan persentase dari campuran dengan rongga yang terisi aspal. Nilainya akan meningkat mengikuti nilai kadar aspalnya mencapai suatu Batasan yang disebut dengan Kadar Aspal Optimum. Nilai *VFWA* mempengaruhi sifat elastis campuran dan kededapan campuran yang dapat berpengaruh terhadap nilai stabilitas, durabilitas, dan fleksibilitas. Apabila nilai *VFWA* yang diperoleh terlalu tinggi, dapat menyebabkan *bleeding*. Begitu juga sebaliknya, apabila terlalu rendah, dapat menyebabkan *poruos*. Berikut merupakan grafik hubungan pada campuran *Stone*

Matirx Asphalt (SMA) antara kadar aspal dan nilai *VFWA* campuran yang dapat dilihat pada Gambar 5.7.

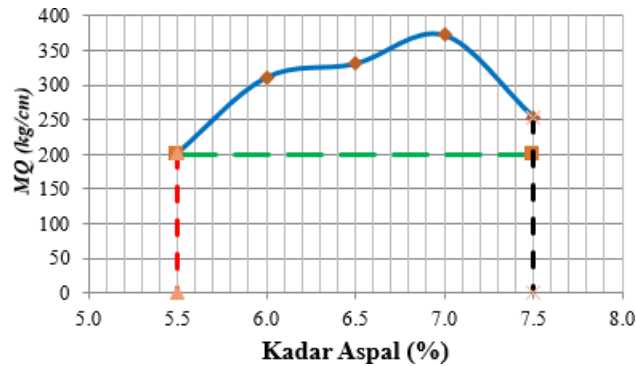


Gambar 5.7 Hubungan antara Nilai *VFWA* Campuran dengan Kadar Aspal

Berdasarkan Gambar 5.7 dapat disimpulkan bahwa nilai *VFWA* akan semakin meningkat dengan seiringnya bertambah persen kadar aspal. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hidayat (2021). Hal ini dapat terjadi karena rongga antar partikel dalam agregat semakin terisi aspal. Dengan terisinya rongga tersebut, membuat tahanan terhadap air dan semakin rapat. Untuk kadar aspal optimum sebesar 7% sudah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu antara 76% sampai dengan 82%.

7. *MQ* (*Marshall Quotient*)

Marshall Quotient merupakan perbandingan antara nilai stabilitas dan kelelahan. Nilai *MQ* menunjukkan kelenturan campuran. Apabila nilai *MQ* semakin kecil, maka campuran semakin lentur. Berlaku sebaliknya, jika *MQ* semakin besar maka campuran tersebut semakin kaku. Gambar 5.8 merupakan grafik hubungan antara kadar aspal dengan nilai *MQ* pada campuran *Stone Matirx Asphalt (SMA)*.



Gambar 5.8 Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai MQ

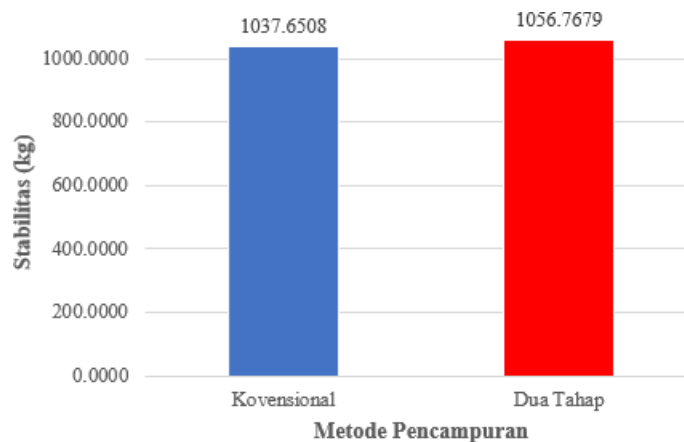
Berdasarkan Gambar 5.8 dapat disimpulkan bahwa nilai MQ bersifat fluktuatif. Meski tidak sejalan dengan penelitian Hidayat (2021) yang terus mengalami penurunan, tetapi dari seluruh kadar aspal MQ masih memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu nilai $MQ > 200$ kg/mm.

5.2.5 Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap terhadap Karakteristik *Marshall* pada Campuran Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berdasarkan hasil pengujian *Marshall* pada campuran *Stone Matirx Asphalt* (SMA) diperoleh nilai KAO aspal Pen 60/70 sebesar 7,22%. Setelah diperoleh nilai KAO, selanjutnya dilakukan pembuatan spesimen dengan 2 metode pencampuran, yaitu dengan metode pencampuran secara konvensional dan metode pencampuran dua tahap yang didasarkan pada pelapisan awal agregat kasar dengan jumlah bahan ikat aspal yang sesuai dengan KAO. Selanjutnya pembahasan dari hasil pengujian dapat dilihat sebagai berikut.

1. Analisis Pengaruh Metode Konvensional dan Metode Dua Tahap Kadar Aspal Terhadap Stabilitas (*Stability*)

Setelah melalui rangkaian pengujian, dapat diperoleh grafik perbandingan metode konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap nilai Stabilitas menggunakan bahan ikat aspal Pen 60/70 yang disajikan pada Gambar 5.9 berikut.



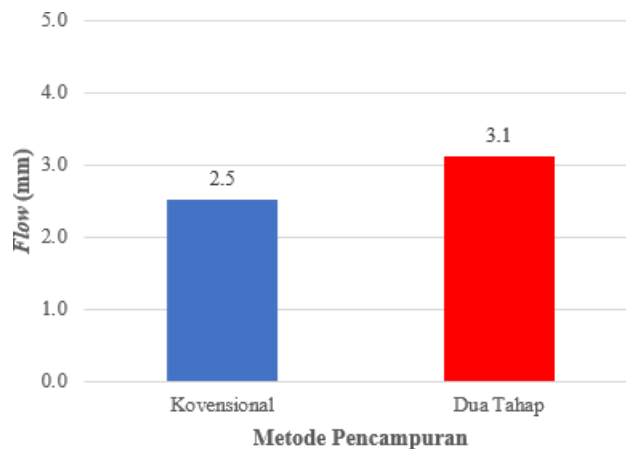
Gambar 5.9 Grafik Perbandingan Metode Konvensional dan Dua Tahap Terhadap Stabilitas

Berdasarkan grafik perbandingan pada Gambar 5.9 dapat dilihat bahwa nilai stabilitas pada campuran SMA menggunakan metode pencampuran dua tahap lebih tinggi dari penggunaan metode pencampuran konvensional. Dengan menggunakan metode pencampuran dua tahap dapat meningkatkan nilai stabilitas. Oleh karena itu, campuran memiliki kemampuan lebih tinggi dalam pelayanan beban lalu lintas tanpa adanya perubahan bentuk (deformasi) seperti alur, gelombang, atau *bleeding* daripada dengan menggunakan bahan ikat aspal Pen 60/70 pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*. Dengan begitu, dapat meningkatkan durabilitas beton aspal. Hal tersebut terjadi karena metode pencampuran dua tahap dapat mengurangi rongga antar agregat. Sehingga, campuran ini dapat lebih baik dalam menahan beban. Penelitian ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Kok dan Kuloglu (2011), Kiselev (2019) dan Hidayat (2021) bahwa dengan adanya *interlocking* yang sangat baik pada agregat kasar akibat penggunaan metode pencampuran dua fase dapat memberikan nilai stabilitas yang

tinggi. Sama halnya dengan penelitian yang dilakukan oleh Wahyudi (2019) yang memperoleh nilai stabilitas lebih tinggi dalam campuran dengan variasi metode pencampuran dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional. Kedua metode pencampuran ini memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu > 750 kg.

2. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Kelelehan (*Flow*)

Setelah melalui rangkaian pengujian, dapat diperoleh grafik perbandingan metode konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap nilai *Flow* menggunakan bahan ikat aspal Pen 60/70 yang disajikan pada Gambar 5.10 berikut.

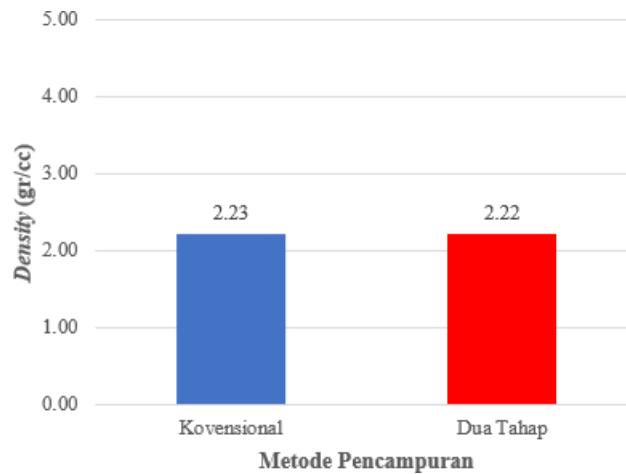


Gambar 5.10 Grafik Perbandingan Metode Konvensional dan Dua Tahap Terhadap *Flow*

Berdasarkan grafik perbandingan pada Gambar 5.10 dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan nilai *flow* antara metode pencampuran dua tahap dan metode pencampuran konvensional dimana penggunaan metode pencampuran dua tahap menghasilkan nilai *flow* yang lebih tinggi daripada penggunaan metode konvensional. Dengan tingginya nilai *flow* membuat campuran ini menjadi campuran tidak mudah mengalami perubahan bentuk dan bersifat lebih lentur. Kedua metode pencampuran ini memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu antara 2 mm sampai dengan 4,5 mm.

3. Analisis pengaruh kadar aspal terhadap kepadatan (*density*)

Setelah melalui rangkaian pengujian, dapat diperoleh grafik perbandingan metode konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap nilai *Density* menggunakan bahan ikat aspal Pen 60/70 yang disajikan pada Gambar 5.11.

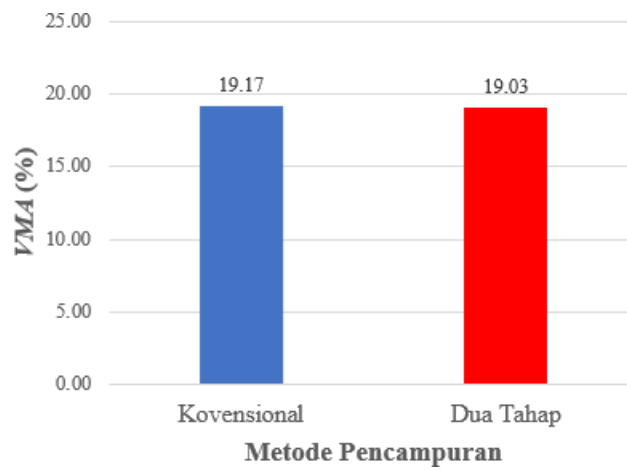


Gambar 5.11 Grafik Perbandingan Metode Konvensional dan Dua Tahap Terhadap *Density*

Gambar 5.11 di atas dapat disimpulkan bahwa grafik perbandingan nilai *Density* pada penggunaan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap menghasilkan perbedaan nilai *Density* yang tidak begitu jauh perbedaannya. Hasil yang diperoleh menunjukkan dengan penggunaan metode pencampuran konvensional lebih tinggi dibandingkan penggunaan metode pencampuran dua tahap. Nilai ini dipengaruhi oleh nilai *VITM* yang besarnya nilainya juga relatif sama. Kedua metode pencampuran masih memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu nilai *density* > 2 gr/cc.

4. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *VMA* (*Void in Mineral Agregate*)

Setelah melalui rangkaian pengujian, dapat diperoleh grafik perbandingan metode konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap nilai *VMA* menggunakan bahan ikat aspal Pen 60/70 yang disajikan pada Gambar 5.12 berikut.



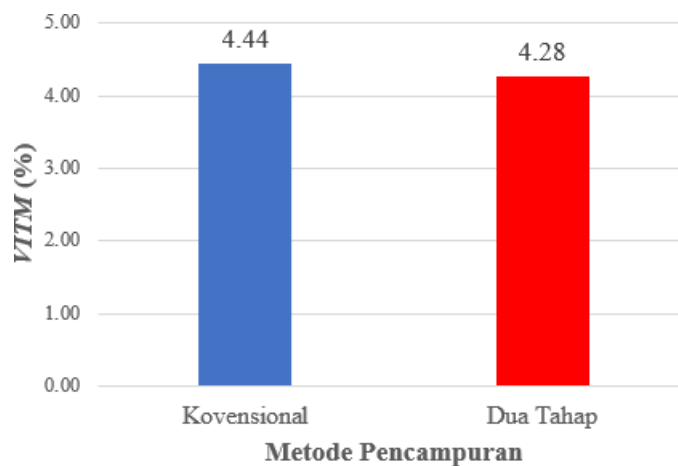
Gambar 5.12 Grafik Perbandingan Metode Konvensional dan Dua Tahap Terhadap *VMA*

Grafik perbandingan pada Gambar 5.12 di atas dapat diketahui bahwa grafik perbandingan nilai *VMA* dengan penggunaan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap memperoleh perbedaan nilai *VMA* yang tidak begitu sama. Campuran pada penelitian ini menggunakan metode pencampuran dua tahap memperoleh nilai *VMA* lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan metode pencampuran konvensional. Hal ini disebabkan karena metode pencampuran dua tahap dapat membentuk ikatan adhesi yang terus meningkat sejalan dengan penelitian Kok dan Kologlu (2011). Dengan begitu jarak antar butir agregat pada campuran menjadi lebih rapat. Kedua metode pencampuran memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu nilai *VMA* > 17%. Selain itu, sejalan dengan penelitian Hidayat (2021) dan Wahyudi (2019) yang menggunakan metode dua tahap dapat memberikan perubahan

nilai volume pori terhadap campuran. Untuk itu, ketebalan pelapisan aspal yang diperoleh lebih banyak.

5. Analisis Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Nilai *Void In The Mix*

Setelah melalui rangkaian pengujian, dapat diperoleh grafik perbandingan metode konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap nilai *VITM* menggunakan bahan ikat aspal Pen 60/70 yang disajikan pada Gambar 5.13 berikut.



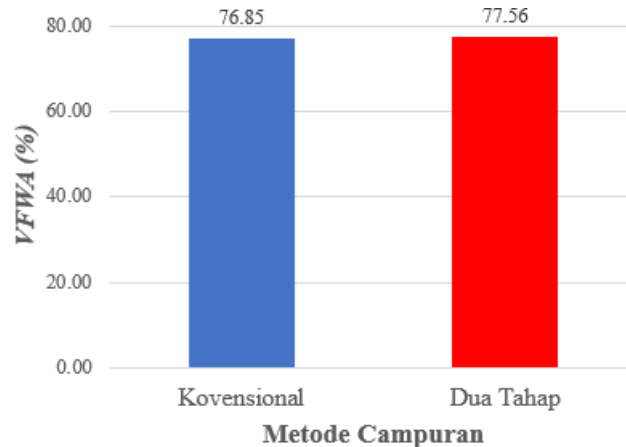
Gambar 5.13 Grafik Perbandingan Metode Konvensional dan Dua Tahap Terhadap *VITM*

Menurut grafik perbandingan pada Gambar 5.13 di atas dapat diketahui bahwa penggunaan metode pencampuran dua tahap terhadap nilai *VITM* mempengaruhi perbedaan hasil yang tidak begitu signifikan. Namun, penggunaan metode pencampuran dua tahap pada campuran ini memperoleh nilai *VITM* yang lebih rendah daripada penggunaan metode pencampuran konvensional. Kedua metode pencampuran ini memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu nilai *VITM* antara 3% sampai dengan 5%. Pada metode pencampuran dua tahap mampu mempengaruhi pelapisan permukaan dan pori agregat kasar dapat lebih maksimal. Sehingga, rongga yang tersisa pada campuran akan lebih sedikit. Hal ini sejalan dengan penelitian Kok dan Kologlu (2011) yaitu dengan menggunakan metode pencampuran dua tahap dapat membuat aspal lebih optimal dalam menyelimuti permukaan sampai *microvoid* agregat kasar pada pelapisan

awal. Hal ini mempengaruhi persentase rongga yang tersisa menjadi lebih rendah. Sama halnya dengan yang dilakukan Wahyudi (2019) dan Hidayat (2021) dalam menggunakan metode pencampuran dua tahap mempengaruhi tebal penyelimutanaspal terhadap agregat kasar yang mampu mengisi rongga-rongga kecil secara optimal.

6. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *VFWA* (*Void Filled with Asphalt*)

Setelah melalui rangkaian pengujian, dapat diperoleh grafik perbandingan metode konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap nilai *VFWA* menggunakan bahan ikat aspal Pen 60/70 yang disajikan pada Gambar 5.14 berikut.



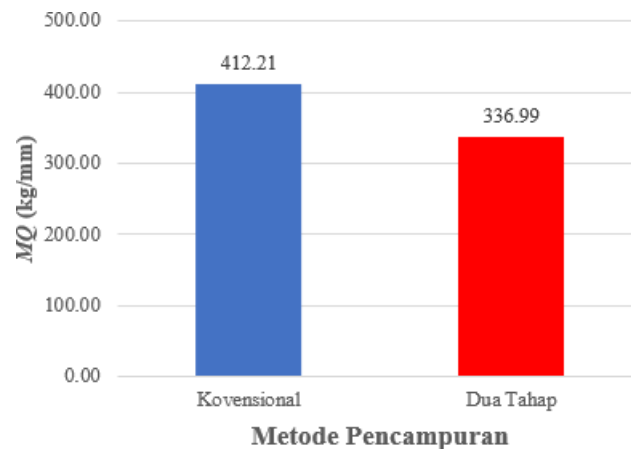
Gambar 5.14 Grafik Perbandingan Metode Konvensional dan Dua Tahap Terhadap *VFWA*

Grafik perbandingan pada Gambar 5.14 di atas dapat disimpulkan pengaruh metode pencampuran dua tahap pada campuran SMA memiliki perbedaan nilai *VFWA* yang tidak terlalu terpaut jauh. Penggunaan metode pencampuran dua tahap memperoleh nilai *VFWA* yang lebih tinggi daripada menggunakan metode pencampuran konvensional. Hal ini dikarenakan tingginya volume pori beton aspal padat yang terisi oleh aspal akibat dari penggunaan metode pencampuran dua tahap. Hasil ini sejalan dengan penelitian Hidayat (2021) dan Kok & Koluglu (2011) mengenai pengaruh metode pencampuran dua tahap yaitu dengan menggunakan metode tersebut mampu mengurangi nilai *void* pada campuran sehingga campuran semakin kedap air dan udara.

Campuran SMA menggunakan metode pencampuran dua tahap mempengaruhi banyaknya volume pori yang terisi oleh aspal lebih efektif dan campuran lebih kedap terhadap udara dan air, sehingga campuran perkerasan tersebut lebih sulit teroksidasi. Kedua metode pencampuran memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu antara 76 sampai dengan 82%.

7. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *MQ* (*Marshall Quotient*)

Setelah melalui rangkaian pengujian, dapat diperoleh grafik perbandingan metode konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap nilai *MQ* menggunakan bahan ikat aspal Pen 60/70 yang disajikan pada Gambar 5.15 berikut.



Gambar 5.15 Grafik Perbandingan Metode Konvensional dan Dua Tahap Terhadap *MQ*

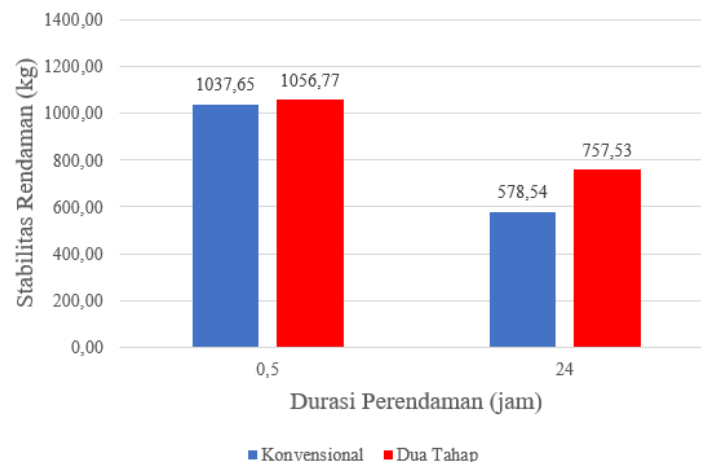
Grafik perbandingan pada Gambar 5.15 di atas dapat disimpulkan nilai *MQ* campuran SMA yang perbedaannya cukup signifikan menggunakan metode pencampuran dua tahap lebih rendah daripada penggunaan metode pencampuran konvensional. Metode pencampuran yang telah dilakukan ini memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu nilai *MQ* > 200 kg/mm. Dengan menggunakan metode pencampuran dua tahap mampu mempengaruhi tingginya nilai *flow* dan stabilitas. Hal ini membuat campuran menjadi lebih lentur, kuat terhadap beban, dan tidak mudah mengalami perubahan bentuk plastis, yang sejalan dengan penelitian Wahyudi (2019). Namun, berbeda dengan penelitian Hidayat (2021)

yang memperoleh nilai MQ lebih tinggi dengan menggunakan metode dua tahap. Sehingga, campuran yang dihasilkan rentan terjadi *cracking* dan lebih kaku.

5.2.6 Pengaruh Metode Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap terhadap Karakteristik *Immersion Test* pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*

1. Stabilitas Rendaman

Stabilitas rendaman merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran karena adanya pengaruh suhu, cuaca, dan air. Perendaman akan dibedakan menjadi 2 tipe, yaitu perendaman pada *waterbath* dengan suhu temperatur sebesar 60°C dalam kurun waktu 0,5 jam dan perendaman pada *waterbath* dengan suhu temperatur sebesar 60°C dalam kurun waktu 24 jam. Grafik perbandingan metode konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap nilai rendaman 0,5 jam dan 24 jam pada campuran *SMA* dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut.



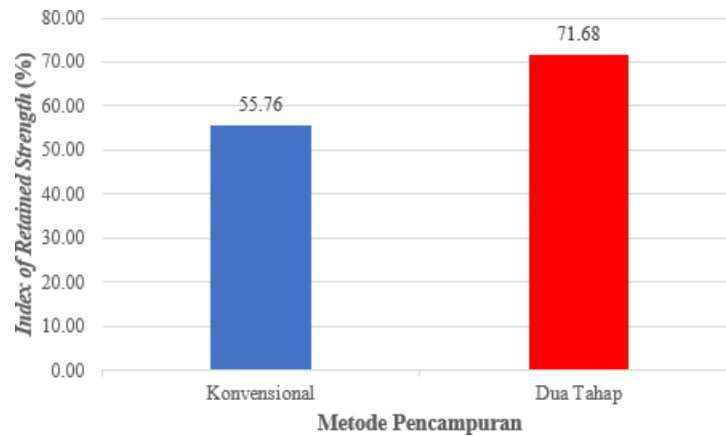
Gambar 5.16 Grafik Perbandingan antara Metode Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Nilai Stabilitas Marshall 0,5 jam dan 24 jam

Nilai stabilitas pada Gambar 5.16 campuran *Stone Matrix Asphalt* menjelaskan bahwa turunnya nilai stabilitas sejalan dengan meningkatnya durasi perendaman pada kedua

penggunaan metode pencampuran. Campuran dalam *waterbath* selama 24 jam lebih rendah daripada rendaman selama 0,5 jam. Hal ini disebabkan ketika proses perendaman 24 jam di *waterbath*, pori-pori campuran lebih banyak terisi oleh air dari pada perendaman selama 0,5 jam. Sehingga, dapat mengurangi ikatan antara aspal dan agregat dalam suatu perkerasan. Nilai stabilitas rendaman pada penggunaan metode pencampuran dua tahap menghasilkan nilai stabilitas rendaman yang lebih rendah daripada menggunakan metode pencampuran konvensional. Hal ini dipengaruhi oleh pori-pori campuran yang tahan air karena adanya pelapisan awal aspal terhadap agregat kasar. Sehingga, banyak pori pada campuran yang berisikan aspal dan selimut aspal menjadi lebih tebal. Hal ini tertuang pada nilai *VFWA* pada campuran dengan penggunaan metode pencampuran dua tahap yang lebih besar daripada campuran *SMA* yang menggunakan metode pencampuran konvensional. Penelitian Wahyudi (2019) dan Hidayat (2021) menjelaskan bahwa dengan menggunakan metode pencampuran dua tahap dapat memperoleh nilai Stabilitas Rendaman yang lebih baik pada kondisi perendaman karena pori-pori campuran yang lebih sedikit akibat banyak pori yang terisi oleh aspal.

2. *Index of Retained Strength (IRS)*

Nilai *IRS* diperoleh melalui proses perendaman pada suhu 60°C dalam kurun waktu selama 24 jam dan 0,5 jam guna mengevaluasi keawetan campuran. Nilai ini diperoleh dari hasil perbandingan antara nilai stabilitas selama 24 jam dengan rendaman 0,5 jam yang selanjutnya dikonversi dalam bentuk persentase. Sehingga, hasil perbandingan dapat diketahui secara jelas. Grafik perbandingan antara metode konvensional dengan metode pencampuran dua tahap terhadap nilai *IRS* pada campuran *SMA* berbahan ikat aspal 60/70 dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut.



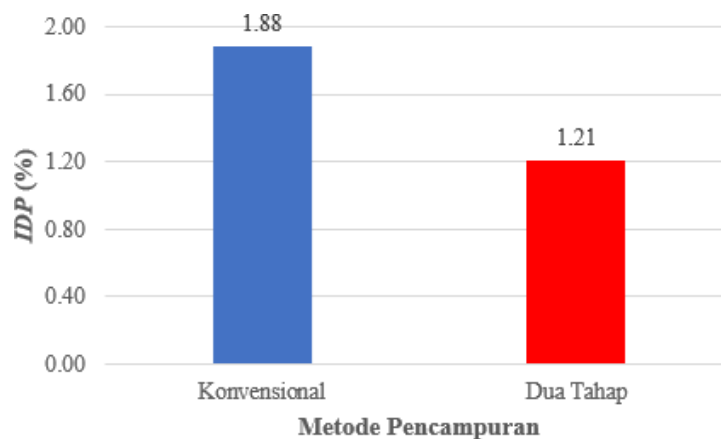
Gambar 5.17 Grafik Perbandingan antara Metode Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Nilai Index of Retained Strength

Grafik perbandingan pada Gambar 5.17 menjelaskan bahwa penggunaan metode pencampuran dua tahap dan metode pencampuran konvensional memiliki perbedaan nilai *IRS* yang cukup signifikan. Penggunaan metode pencampuran dua tahap mampu meningkatkan nilai *IRS* pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* sehingga dapat meningkatkan durabilitas beton aspal. Hal ini berlandaskan pada nilai stabilitas rendaman pada campuran *SMA* dengan menggunakan metode pencampuran dua tahap yang lebih rendah penurunannya diakibatkan pori-pori campuran yang berisikan air lebih sedikit. Sehingga, campuran *SMA* dengan metode pencampuran dua tahap memiliki durabilitas lebih baik terhadap cuaca daripada campuran dengan penggunaan metode pencampuran konvensional. Hasil penelitian ini selaras dengan penelitian Wahyudi (2019) dan Hidayat (2021) yang menjelaskan bahwa dengan menggunakan metode pencampuran dua tahap dapat menghasilkan nilai *IRS* yang lebih baik pada saat perendaman. Oleh karena itu, dengan penggunaan metode pencampuran dua tahap mampu meningkatkan durabilitas aspal pengaruh iklim, cuaca, maupun perubahan suhu.

3. Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP) digunakan untuk memperoleh total kelandaian yang berurut dari kurva keawetan (durabilitas) atau nilai sensitifitas

berkurangnya nilai stabilitas pada campuran terhadap lama perendaman. Semakin kecilnya nilai IDP kehilangan kekuatannya, berlaku juga sebaliknya dan semakin besar penurunan nilai IDP menunjukkan bahwa suatu campuran tersebut bertambah akan kekuatan. atau semakin sensitif terhadap perendaman air. Grafik perbandingan nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP) antara dua metode pencampuran pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut.



Gambar 5.18 Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran terhadap Nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

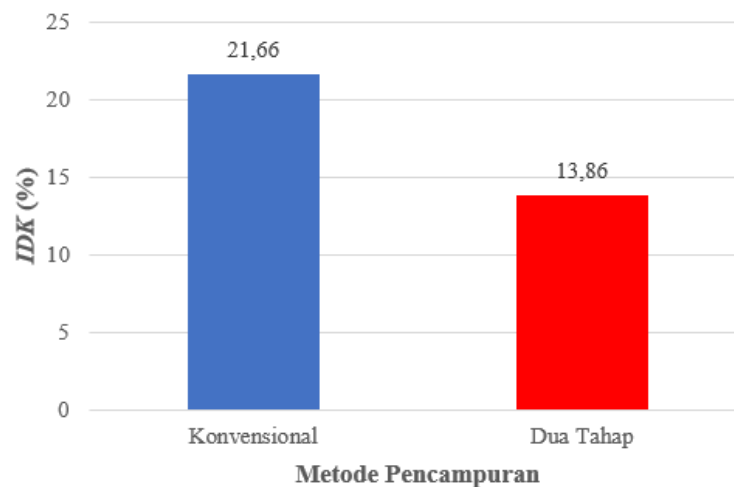
Dilihat dari grafik pada Gambar 5.18 bahwa nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP) pada campuran *SMA* dengan menggunakan metode pencampuran dua tahap mengalami penurunan nilai IDP yang lebih kecil dengan perbandingan antara hubungan nilai *IRS* dan nilai IDP dengan campuran *SMA* menggunakan metode pencampuran konvensional. Nilai IDP yang cenderung kecil pada campuran *SMA* dengan menggunakan metode pencampuran dua tahap merepresentasikan bahwa campuran tersebut mampu bertahan dalam perendaman yang lebih baik. Besarnya penurunan nilai IDP pada Campuran *SMA* dengan menggunakan metode pencampuran konvensional akibat banyaknya air yang mengisi pori-pori campuran, dapat merangsang proses oksidasi pada campuran. Hal ini dapat mengakibatkan campuran semakin meningkat

nilai kekakuannya. Adanya peningkatan nilai kekakuan dapat mengakibatkan campuran lebih mudah retak dan dapat menurunkan sifat keawetannya.

Pada penelitian Wahyudi (2019) dan Hidayat (2021) tidak dilakukan analisis Indeks Durabilitas Pertama. Tetapi, jika ditelaah dari segi keawetan pada campuran dengan menggunakan metode pencampuran dua tahap memiliki durabilitas yang lebih baik terhadap perendaman daripada menggunakan metode pencampuran konvensional. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Wahyudi (2019) dan Hidayat (2021) yaitu penggunaan metode pencampuran dua tahap mampu meningkatkan kinerja perkerasan yang tahan terhadap pengaruh iklim, cuaca, dan perubahan suhu.

4. Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK) digunakan dalam proses perendaman memperoleh persentase kehilangan kekuatan rata-rata. Semakin kecil nilai IDK yang diperoleh, maka semakin kecil juga kehilangan kekuatannya, berlaku juga sebaliknya dan semakin besar penurunan nilai IDP menunjukkan bahwa suatu campuran tersebut bertambah akan kekuatan. Grafik perbandingan nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK) antara dua metode pencampuran pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut.



Gambar 5.19 Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran terhadap Nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

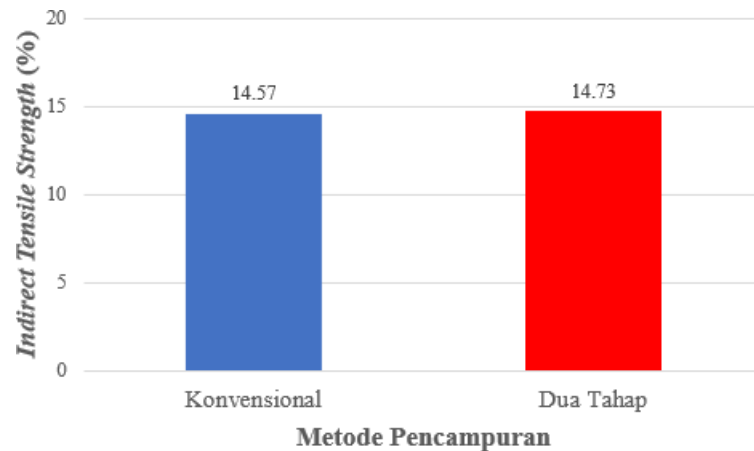
Dilihat dari grafik pada Gambar 5.19 bahwa nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK) pada campuran SMA dengan menggunakan metode pencampuran konvensional memperoleh nilai IDK yang lebih besar dibandingkan dengan penggunaan metode pencampuran dua tahap. Kecilnya nilai IDK yang diperoleh pada campuran SMA dengan menggunakan metode pencampuran dua tahap merepresentasikan bahwa campuran SMA mampu bertahan dalam perendaman yang lebih baik dibandingkan menggunakan metode pencampuran konvensional. Besarnya nilai IDP pada Campuran SMA dengan menggunakan metode pencampuran konvensional akibat banyaknya air yang mengisi pori-pori campuran, dapat merangsang proses oksidasi pada campuran yang berakibat campuran akan semakin meningkat nilai kekakuannya. Nilai a pada kedua metode pencampuran memperoleh nilai positif yang dapat diartikan bahwa campuran melalui proses kehilangan kekuatan.

Pada penelitian Wahyudi (2019) dan Hidayat (2021) tidak dilakukan analisis Indeks Durabilitas Kedua. Namun, dapat dilihat dari nilai kehilangan kekuatan campuran yang diperoleh akibat perendaman ini, sejalan dengan penelitian yang dilakukan Wahyudi (2019) dan Hidayat (2021) yaitu dengan menggunakan metode pencampuran dua tahap dapat meningkatkan kinerja perkerasan yang tahan terhadap pengaruh iklim, cuaca, dan perubahan suhu.

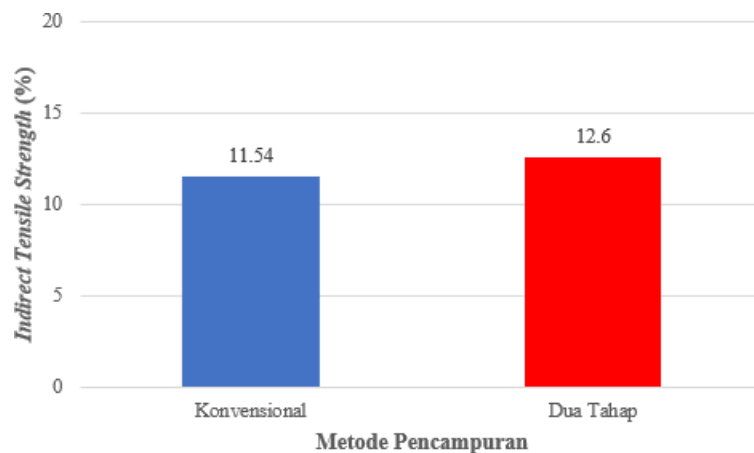
5.2.7 Pengaruh Metode Konvensional dan Metode Pencampuran Dua tahap terhadap Nilai *Indirect Tensile Strength (ITS)* pada Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*

Pengujian *ITS* dilakukan untuk memperoleh nilai kuat tarik dari campuran beton aspal akibat adanya beban lalu lintas. Apabila nilai *ITS* yang diperoleh cenderung tinggi menunjukkan campuran beton aspal mempunyai kuat tarik yang baik. Pengujian *ITS* terbagi menjadi dua jenis yaitu pengujian *ITS condition* dan *ITS uncondition*. *ITS condition* merupakan pengujian kuat tarik tidak langsung yang di uji setelah dilakukan perendaman di *waterbath* selama 24 jam dengan suhu air $60 \pm 1^\circ\text{C}$. *ITS uncondition* merupakan pengujian kuat tarik langsung tetapi benda uji tidak dilakukan perendaman.

Ini apa. Berikut grafik perbandingan metode konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap nilai *ITS Condition* dan *ITS Uncondition* pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* dengan berbahan ikat aspal Pen 60/70 dapat dilihat pada Gambar 5.20.



Gambar 5.20 Grafik Perbandingan Metoden Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Nilai *ITS Uncondition*



Gambar 5.21 Grafik Perbandingan Metoden Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Nilai *ITS Condition*

Dilihat dari grafik pada Gambar 5.20 dan Gambar 5.21 bahwa campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* pada nilai *ITS condition* lebih rendah daripada nilai *ITS uncondition*. Hal ini diakibatkan oleh pada perendaman di *waterbath* dengan suhu 60°C selama 24

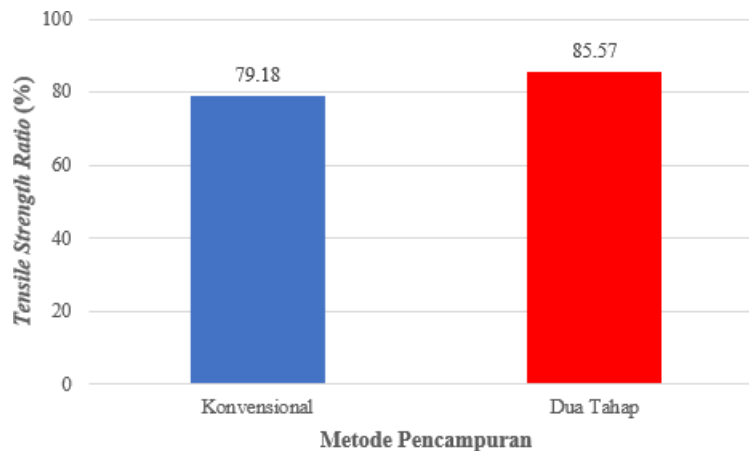
jam mampu mempengaruhi penurunan kinerja perkerasan. Turunnya kinerja perkerasan diantaranya yaitu berkurangnya ikatan antar aspal dan agregat, melunaknya perkerasan, dan adanya kemungkinan mengalami keretakan yang tinggi.

Selain itu, melalui analisis statik ini juga diperoleh perbedaan nilai yang cukup signifikan pada nilai *ITS condition* dan *ITS uncondition* pada campuran SMA dengan menggunakan metode pencampuran dua tahap. Berdasarkan penggunaan metode pencampuran dua tahap, diperoleh nilai *ITS condition* dan *ITS uncondition* yang lebih tinggi daripada penggunaan metode pencampuran konvensional. Hal ini disebabkan modulus kekakuan campuran (*Smix*) yang dihasilkan dari campuran dengan menggunakan metode pencampuran dua tahap lebih tinggi daripada menggunakan metode pencampuran konvensional. Dengan begitu, campuran yang melalui metode pencampuran dua tahap dapat mengurangi potensi retakan (*fatigue*) karena kegagalan gaya Tarik campuran. Hasil ini sejalan dengan penelitian Wahyudi (2019) dan Hidayat (2021) yaitu dengan menggunakan metode pencampuran dua tahap dapat menghasilkan nilai *ITS* yang lebih unggul, baik melalui kondisi campuran tanpa perendaman maupun melalui kondisi campuran dengan perendaman. Selain itu, dapat meminimalisir risiko terjadinya keretakan (*fatigue*) karena beban yang diterima.

5.2.8 Pengaruh Metode Konvensional dan Metode Pencampuran Dua tahap terhadap Nilai *Tensile Strength Ratio (TSR)* pada Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*

Pengujian TSR akan memperoleh perbandingan nilai kuat tarik pada campuran antara *ITS condition* dan *ITS uncondition*. Nilai TSR yang diperoleh harus lebih besar dari 80% sesuai dengan ketentuan yang disyaratkan pada SNI 8129:2015. Berikut grafik perbandingan metode konvensional dan metode pencampuran dua tahap

terhadap nilai *TSR* pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* dengan berbahan ikat aspal Pen 60/70 dapat dilihat pada Gambar 5.22.

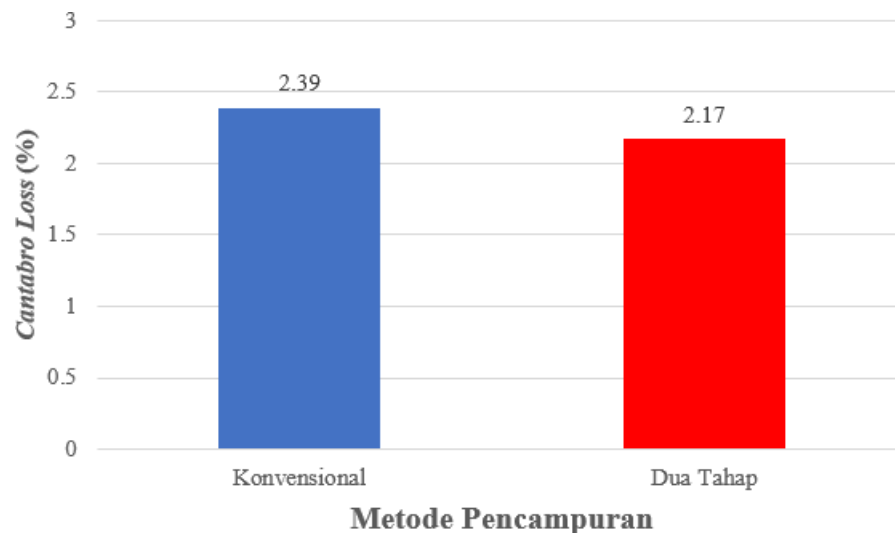


Gambar 5.22 Grafik Perbandingan Metoden Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Nilai *TSR*

Dilihat dari grafik pada Gambar 5.22 bahwa terdapat perbedaan nilai *TSR* yang cukup signifikan antara metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap. Nilai *TSR* masing-masing metode pencampuran sudah memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu nilai *TSR* > 80%. Metode pencampuran dua tahap yang digunakan menghasilkan nilai *TSR* yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan metode pencampuran konvensional. Hal ini dapat diterjemahkan bahwa penggunaan metode pencampuran dua tahap pada campuran *SMA* dapat meminimalisir adanya keretakan (*fatigue*) karena kegagalan gaya tarik terhadap pengaruh iklim, cuaca atau perubahan suhu dibanding dengan penggunaan metode konvensional. Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Hidayat (2021) yaitu penggunaan metode pencampuran konvensional dapat menghasilkan nilai *TSR* yang lebih rendah dibandingkan metode pencampuran dua tahap. Hal ini dikarenakan campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap akan lebih kedap air dan dapat meminimalisir adanya keretakan (*fatigue*) sebagai efek dari beban yang diterima pengaruh iklim, cuaca, atau perubahan suhu.

5.2.9 Pengaruh Metode Konvensional dan Metode Pencampuran Dua tahap terhadap Nilai *Cantabro Loss* pada Campuran *Stone Matirx Asphalt (SMA)*

Cantabro Loss merupakan pengujian untuk mengetahui ketahanan suatu benda uji terhadap keausan dengan bantuan alat *Los Angeles* yang berputar sebanyak 300 kali tanpa bola baja. Melalui *Cantabro Loss* dapat diperoleh besaran batas kekuatan hancur dikarenakan oleh pengaruh *impact* (tumbukan/pembebanan) beban roda lalu lintas pada lapis perkerasan. Selain itu, dari pengujian *Cantabro Loss* juga dapat diketahui kehilangan berat dari benda uji setelah dilakukan tes abrasi. Berikut grafik perbandingan metode konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap nilai *Cantabro Loss* pada campuran *Stone Matirx Asphalt (SMA)* dengan berbahan ikat aspal Pen 60/70 dapat dilihat pada Gambar 5.23.



Gambar 5.23 Grafik Perbandingan Metoden Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Nilai *Cantabro Loss*

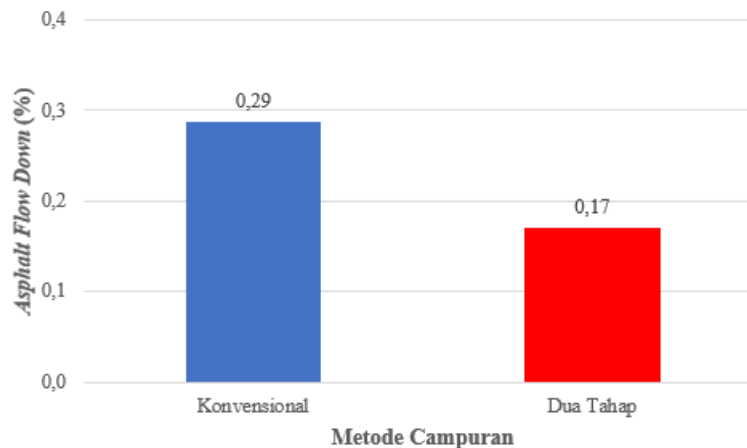
Dilihat dari grafik pada Gambar 5.23 bahwa persentase perbandingan antara nilai *Cantabro Loss* yang menggunakan metode pencampuran dua tahap dengan menggunakan metode pencampuran konvensional tidak terpaut jauh. Walau begitu, metode pencampuran konvensional lebih tinggi daripada metode pencampuran dua tahap. Hal ini terjadi karena campuran dengan menggunakan metode pencampuran dua tahap mampu menghasilkan daya ikat aspal dengan agregat yang lebih baik daripada

menggunakan metode pencampuran konvensional. Kedua hal tersebut mampu memperlambat terjadinya pengelupasan aspal dari campuran SMA karena beban lalu lintas yang diterima. Syarat spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu nilai keausan $\leq 20\%$ mampu terpenuhi oleh kedua penggunaan metode pencampuran pada penelitian ini.

Berdasarkan penelitian Hidayat (2021) dengan menggunakan metode pencampuran dua tahap memperoleh nilai *ITS* yang lebih baik daripada dengan menggunakan metode pencampuran konvensional. Hal ini terjadi karena campuran SMA dengan metode pencampuran dua tahap memiliki kemampuan daya lekat dan daya dukung yang berpengaruh pada kemampuannya dalam menahan beban disintegrasi tinggi (abrasi).

5.2.10 Pengaruh Metode Konvensional dan Metode Pencampuran Dua tahap terhadap Nilai *Asphalt Flow Down* pada Campuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA)

Secara Umum pengaruh metode konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap kinerja perkerasan campuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA) berbahan ikat aspal Pen 60/70 dapat dilihat pada Gambar 5.24 berikut ini.



Gambar 5.24 Perbandingan Metode Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap *Asphalt Flow Down*

Dil

ihat dari grafik pada Gambar 5.24 bahwa *Asphalt Flow Down* pada campuran SMA dengan menggunakan metode pencampuran dua tahap memperoleh nilai yang tidak terpaut terlalu jauh dengan menggunakan metode pencampuran secara konvensional. Kedua metode pencampuran tidak mempengaruhi nilai *AFD* karena bahan ikat yang digunakan sama-sama menggunakan bahan ikat aspal Pen 60/70. Selain itu, pelapisan aspal terhadap agregat yang cukup tebal juga tidak mempengaruhi daya lekat campuran dan tetap akan tetap kuat. Pengujian *Asphalt Flow Down* pada penelitian Wahyudi (2019) dan Hidayat (2021) belum dilakukan. Sehingga tidak dapat dibandingkan dengan penelitian sebelumnya berdasarkan *homogenity* campuran dengan metode pencampuran dua tahap yang lebih baik.

5.3 Rekapitulasi Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*

Hasil pengujian pengaruh metode pencampuran konvensional dan dua tahap terhadap kinerja campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut.

Tabel 5.17 Rekapitulasi Perbandingan Kinerja Perkerasan Campuran SMA Terhadap Pencampuran Konvensional dan Pencampuran Dua Tahap

No.	Pengujian	Metode Pencampuran		Keterangan
		Konvensional	Dua Tahap	
1	Stabilitas	×	√	Nilai Stabilitas pada campuran yang menggunakan metode pencampuran secara dua tahap memiliki nilai yang lebih tinggi, campuran memiliki kemampuan lebih tinggi menahan beban lalu lintas.
2	<i>Flow</i>	×	√	Nilai <i>Flow</i> pada campuran yang menggunakan metode pencampuran secara dua tahap memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan metode pencampuran secara konvensional. Dengan tingginya nilai <i>flow</i> membuat campuran ini tidak mudah mengalami perubahan bentuk
3	<i>Density</i>	√	×	Nilai <i>Density</i> pada campuran yang menggunakan dua metode pencampuran memiliki nilai yang relatif sama, perbedaan nilai antar keduanya tidak signifikan pada berat volume campuran.

Lanjutan Tabel 5.17 Rekapitulasi Perbandingan Kinerja Perkerasan Campuran SMA Terhadap Pencampuran Konvensional dan Pencampuran Dua Tahap

No.	Pengujian	Metode Pencampuran		Keterangan
		Konvensional	Dua Tahap	
4	VMA	√	×	Nilai <i>VMA</i> pada campuran yang menggunakan pencampuran secara dua tahap memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan metode pencampuran secara konvensional, perbedaan nilai antar keduanya signifikan
5	VITM	√	×	Nilai <i>VITM</i> pada campuran yang menggunakan metode pencampuran secara dua tahap memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan metode pencampuran secara konvensional, perbedaan nilai antar keduanya signifikan
6	VFWA	×	√	Nilai <i>VFWA</i> pada campuran yang menggunakan metode pencampuran secara dua tahap memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan metode pencampuran secara konvensional, perbedaan nilai antar keduanya tidak signifikan.
7	MQ	√	×	Nilai <i>MQ</i> pada campuran yang menggunakan metode pencampuran secara dua tahap memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan metode pencampuran secara konvensional, perbedaan nilai antar keduanya tidak signifikan.
8	IRS	×	√	Nilai <i>Index of Retained Strength (IRS)</i> pada campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran yang menggunakan metode pencampuran konvensional, perbedaan nilai keduanya signifikan.
9	IDP	√	×	Nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP) pada campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap memiliki penurunan nilai IDP yang lebih kecil berdasarkan hubungan antara nilai IRS dan nilai IDP dibandingkan dengan campuran yang menggunakan metode pencampuran konvensional. Pencampuran dua tahap mampu bertahan dalam perendaman yang lebih baik.
10	IDK	√	×	Nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK) pada campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap memiliki nilai IDK yang lebih kecil dibandingkan dengan campuran yang menggunakan metode pencampuran konvensional. Pencampuran dua tahap mampu bertahan dalam perendaman lebih baik dibanding pencampuran konvensional

Lanjutan Tabel 5.17 Rekapitulasi Perbandingan Kinerja Perkerasan Campuran SMA Terhadap Pencampuran Konvensional dan Pencampuran Dua Tahap

No.	Pengujian	Metode Pencampuran		Keterangan
		Konvensional	Dua Tahap	
11	<i>ITS</i>	×	√	Perbedaan nilai dihasilkan pada nilai <i>ITS condition</i> dan nilai <i>ITS uncondition</i> perkerasan dengan metode pencampuran dua tahap terhadap perkerasan dengan metode pencampuran konvensional. Pada perkerasan dengan metode pencampuran dua tahap memiliki nilai yang lebih tinggi. Pencampuran dua tahap dapat mengurangi potensi kerusakan.
12	<i>TSR</i>	×	√	Nilai <i>TSR</i> pada campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran yang menggunakan metode pencampuran konvensional, Pencampuran dua tahap dapat meminimalisir keretakan.
13	<i>Cantabro Loss</i>	√	×	Nilai <i>Cantabro Loss</i> pada campuran yang menggunakan penggunaan metode pencampuran secara dua tahap memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan metode pencampuran secara konvensional. Pencampuran dua tahap mampu menghasilkan daya ikat aspal dengan agregat.
14	<i>AFD</i>	√	×	Nilai <i>Asphalt Flow Down</i> pada campuran yang menggunakan penggunaan metode pencampuran secara dua tahap memiliki nilai yang relatif sama dengan penggunaan metode pencampuran secara konvensional, perbedaan nilai antar keduanya tidak signifikan.

Keterangan:

- √ = Campuran dengan metode pencampuran yang memiliki karakteristik nilai yang lebih tinggi
 × = Campuran dengan metode pencampuran yang memiliki karakteristik nilai yang lebih rendah

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada campuran *Stone Matrix Asphalt* (*SMA*) berbahan ikat aspal Pen 60/70 dengan perbandingan metode pencampuran dua tahap dan metode pencampuran konvensional dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Hasil pengujian karakteristik *Marshall* yang meliputi pengujian stabilitas, kelelahan (*flow*), kepadatan (*density*), *Void in the Mineral Aggregate (VMA)*, *Void In Total Mix (VITM)*, *Void Filled With Asphalt (VFWA)*, dan *Marshall Quotient (MQ)* secara keseluruhan dengan menggunakan metode pencampuran dua tahap memperoleh nilai yang lebih baik dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional. Nilai stabilitas, *flow*, *density* dan *VMA* memperoleh nilai lebih besar pada campuran aspal dengan menggunakan metode pencampuran dua tahap. Sedangkan nilai *MQ*, *VITM*, dan *VFWA* memperoleh nilai lebih kecil pada campuran aspal dengan menggunakan metode pencampuran dua tahap. Hal ini disebabkan oleh aspal yang menyelimuti agregat menjadi lebih optimal ketika menggunakan metode pencampuran dua tahap. Penyelimutan awal pada agregat kasar, campuran tersebut memiliki daya rekat yang lebih baik, memiliki sifat elastis, dan lebih tahan terhadap perubahan bentuk plastis.
2. Campuran *SMA* yang menggunakan metode pencampuran dua tahap memperoleh nilai *Index of Retained Strength (IRS)* lebih besar yang cukup signifikan dibandingkan dengan campuran *SMA* yang menggunakan metode pencampuran konvensional. Hal ini berlandaskan terhadap nilai stabilitas rendaman pada campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap memiliki nilai penurunan yang lebih rendah. Hal tersebut terjadi karena sedikitnya pori-pori campuran yang terisi oleh air. Campuran dengan menggunakan metode pencampuran dua tahap lebih awet terhadap cuaca daripada campuran dengan metode pencampuran konvensional.

3. Penggunaan metode pencampuran dua tahap memperoleh nilai IDP dan IDK yang penurunannya lebih kecil dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional. Oleh karena itu, campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap memiliki ketahanan yang lebih baik dan mampu meminimalisir hilangnya kekuatan terhadap perendaman. Hal ini berlandaskan pada proses pencampuran dua tahap menjadikan campuran lebih baik daya ikatnya antar aspal dan agregat serta banyak pori yang terisi aspal. Sehingga, campuran akan lebih kedap terhadap air.
4. Hasil yang diperoleh dari pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* yaitu nilai *ITS uncondition* dan *ITS condition*. Penggunaan metode pencampuran dua tahap dan metode pencampuran konvensional cenderung memiliki nilai *ITS condition* yang lebih kecil dibandingkan nilai *ITS uncondition*. Hal ini disebabkan oleh durasi perendaman. Nilai *ITS uncondition* dan *ITS condition* pada campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap lebih besar dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional. Campuran dengan metode pencampuran dua tahap menghasilkan nilai modulus kekakuan campuran (S_{mix}) yang lebih baik dibandingkan dengan campuran perkerasan dengan metode pencampuran konvensional merupakan pengaruh perbedaan dari keduanya. Sehingga, campuran perkerasan dengan metode pencampuran dua tahap akan lebih tahan terhadap risiko terjadinya retak (*fatigue*) karena kegagalan gaya tarik pada campuran.
5. Penggunaan metode pencampuran dua tahap dalam penentuan nilai *Tensile Strength Ratio (TSR)* terhadap campuran memperoleh nilai yang cukup signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan metode pencampuran konvensional. Nilai kuat tarik yang melalui proses perendaman pada campuran menggunakan metode pencampuran dua tahap memiliki ketahanan yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan metode pencampuran konvensional. Hal ini disebabkan oleh terjadinya pelapisan awal aspal terhadap agregat yang membuat campuran lebih homogen dan kedap air. Berlaku sebaliknya, campuran yang menggunakan metode pencampuran konvensional memiliki rongga yang lebih

terbuka. Oleh karena itu, campuran akan mudah terisi oleh air dan lebih mudah terjadi oksidasi.

6. Pengujian *Cantabro Loss* pada campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap dan metode pencampuran konvensional menghasilkan perbedaan yang cukup signifikan. Nilai *Cantabro Loss* pada campuran dengan menggunakan metode pencampuran dua tahap lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan metode pencampuran konvensional. Hal ini disebabkan oleh daya ikat aspal terhadap agregat lebih baik dengan melalui proses pelapisan awal pada agregat kasar yang terjadi apabila menggunakan metode pencampuran dua tahap. Oleh karena itu, dapat terjadi perlambatan dalam proses pelepasan material campuran ketika menerima beban.
7. Perbedaan nilai *Asphalt Flow Down (AFD)* pada campuran yang diperoleh ketika menggunakan kedua metode pengujian tidak terpaut terlalu jauh. Hal ini dikarenakan tidak adanya perbedaan bahan ikat yang digunakan. Tetapi, nilai *AFD* pada campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap lebih kecil pelepasan aspal yang terjadi dibandingkan dengan menggunakan metode pencampuran konvensional. Karena aspal yang melekat pada agregat lebih banyak dibandingkan dengan campuran yang menggunakan metode pencampuran konvensional.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* menggunakan bahan ikat aspal pen 60/70 yang membandingkan antara metode pencampuran dua tahap dan metode pencampuran konvensional, penulis menyusun beberapa saran yaitu sebagai berikut.

1. Jika memilih pelaksanaan perkerasan campuran *SMA*, disarankan untuk menggunakan metode pencampuran secara dua tahap. Hal ini dikarenakan penggunaan metode pencampuran dua tahap dapat menghasilkan campuran yang lebih baik dalam hal kekuatan, keawetan, dan ketahanan meski harus melalui proses perendaman. Campuran dengan menggunakan metode pencampuran dua

tahap juga memiliki sifat yang lebih lebih kedap dan lebih lentur dalam menahan beban lalu lintas.

2. Penggunaan campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* direkomendasikan untuk menahan beban berat pada lalu lintas. Karena campuran *SMA* memiliki persentase agregat kasar tinggi. Sehingga mampu menahan beban berat secara optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, R. 2021. *Pengaruh Pemanfaatan Tras sebagai Bahan Pengisi Pengganti terhadap Karakteristik Campuran Split Mastic Asphalt (SMA)*. Universitas Islam Indonesia.
- ADMINGRO1. 2014, July 23. *Konstruksi Perkerasan Lentur (Flexible Pavement)*. Dinas Pekerjaan Umum Dan Penataan Ruang. <https://dpupr.grobogan.go.id/info/artikel/29-konstruksi-perkerasan-lentur-flexible-pavement#:~:text=Yang%20dimaksud%20perkerasan%20lentur%20%7Bflexible,berbutir%20sebagai%20lapisan%20di%20bawahnya>.
- Amaheka, S. G., Latupeirissa, H.B., & Metekohe, J. G. 2022. Pengaruh SeratSelulosa terhadap Nilai Stabilitas Marshall pada Campuran *Stone Matrix Asphalt(SMA)*. *Jurnal Teknik*, 1(15), 48–52.
- Aminin, R. M., Hasanuddin, A., & Koesoemawati, D. J. 2020. Karakteristik Campuran Marshall Campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* dengan Penambahan Selulosa Serat Kapuk. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Lingkungan*, 4(1), 72–82.
- Bahtiar, M. 2017. *Pengaruh Oil Sludge Sebagai Subtitusi Aspal Pen 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus (The Effect of Oil Sludge As a Substitute for Asphalt Pen 60/70 Characteristics of Mixed Porous Asphalt)*. Universitas Islam Indonesia.
- Campuran Aspal dan Agregat*. 2018. CatatanSipil. <https://www.catatansipil.com/2018/09/campuran-aspal-dan-agregat.html>
- Hasibuan, F. N. 2019. *Tugas Akhir Pengaruh Penggunaan Serat Ijuk sebagai Bahan Penambah Serat Selulosa pada Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) (Studi Penelitian)*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

- Hidayat, M. I. 2021. *Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap terhadap Karakteristik Campuran Stone Matrix Asphalt dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Aspal Crumb Rubber*. Universitas Islam Indonesia.
- Kementerian, P., Umum, D., Perumahan, R., Direktorat, J., Bina, M., Pekerjaan, U., Jalan, K., & Jembatan, D. 2018. *Spesifikasi Umum 2018*. Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan.
- Kiselev, A., Zhang, H., and Liu, Z. 2021. *The Effect of Two-Phase Mixing on the Functional and Mechanical Properties of TPS/SBS-modified Porous Asphalt Concrete*. *Construction and Building Materials*. Vol. 270. Northeast Forestry University. Harbin 150040. China.
- Kok B V dan Kologlu N. 2011. Effects of Two-Phase Mixing Method on Mechanical Properties of Hot Mix Asphal. Firat University, Civil Engineering Department Elazig, Turkey.
- Metekohy, J. G., Amaheka, S. G., & Latupeirissa, H. B. 2022. Pengaruh Serat Selulosa terhadap Nilai Stabilitas *Marshall* pada Campuran *Stone Matrix Asphalt(SMA)*. *Jurnal Teknik*, 15(1), 48–52. www.jurnal.umm.ac.id/dintek
- Modul : Bahan Agregat Untuk Perkerasan*. (n.d.). Sistem Manajemen Pengetahuan. Retrieved October 27, 2022, from https://simantu.pu.go.id/epel/edok/f00bf_2._Bahan_Agregat_Untuk_Pondasi_Jalan.pdf
- Modul : Bahan Aspal Untuk Perkerasan Lentur*. (n.d.). Sistem Manajemen Pengetahuan. Retrieved October 27, 2022, from https://simantu.pu.go.id/epel/edok/50842_3._Bahan_Aspal_Untuk_Perkerasan_Lentur.pdf
- Oda, S. 2012, January. *Structure of Aggregates of Mixture SMA*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-aggregates-of-mixture-SMA-and-structure-of-conventional-hot-mix-asphalt-3_fig1_257388915
- Prayuda, T. A. 2019. *Tugas Akhir Pengaruh Oli Bekas Sebagai Bahan Peremaja Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) terhadap Karakteristik Campuran Split*

- Mastic Asphalt (SMA) 0/11 dengan Selulosa Serabut Kelapa*. Universitas Islam Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia Spesifikasi Stone Matrix Asphalt (SMA)*. 2015. Spesifikasi Stone Matrix Asphalt (SMA). www.bsn.go.id
- Tahir, A. 2011. Kinerja Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) yang Menggunakan Serat Selulosa Alami Dedak Padi. *Rekayasa Dan Manajemen Transportasi Journal of Transportation Management and Engineering*, 1(1), 27–41.
- Wahyudi, A. T. 2019. *Pengaruh Berbagai Metode Pencampuran Terhadap Karakteristik Campuran Superpave dan Aspal Porus*. Universitas Islam Indonesia.
- Wijayanti, F. S. 2016. *Tugas Akhir Pengaruh Kadar Limbah Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus (The Effect of Waste Glass Level As Substitution For Fine Aggregate Toward Characteristic of Porous Asphalt Mixture)*. Universitas Islam Indonesia.

LAMPIRAN

TUGAS AKHIR



Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL PEN 60/70

Material : Aspal Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tahun Uji : 2022

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat Vicnometer Kosong (gr)	24,73	23,72
2	Berat Vicnometer + Aquadest (gr)	47,41	47,41
3	Berat Aquadest (2-1) (gr)	22,68	23,69
4	Berat Vicnometer + Aspal (gr)	26,89	26,04
5	Berat Aspal (4-1) (gr)	2,16	2,32
6	Berat Vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	47,57	47,49
7	Berat Aquadest (6-4) (gr)	20,68	21,45
8	Volume Aspal (3-7) (gr)	2	2,24
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,0800	1,0357
10	Rata-Rata Berat Jenis Aspal	1,0579	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Peneliti

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Ahmad Farhan Awal Mahza
NIM : 17 511 126



Lampiran 2 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL PEN 60/70

Material : Aspal Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tahun Uji : 2022

No	Urutan Pemeriksaan	Suhu	Waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda Uji			
	Mulai Pemanasan	27°C	13.00 WIB	
	Selesai Pemanasan	50°C	13.15 WIB	
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang			
	Mulai Pemanasan	50°C	13.30 WIB	
	Selesai Pemanasan	27°C	15.00 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	27°C	15.00 WIB	
	Selesai	52°C	15.30 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Suhu yang diamati	Waktu Pemasanan (dtk)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	5°C				
2	10°C	104	104		
3	15°C	210	210		
4	20°C	302	303		
5	25°C	387	387		
6	30°C	465	466		
7	35°C	664	665		
8	40°C	668	668		
9	45°C	765	766		
10	50°C	1122	1140	57	59

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Peneliti

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Ahmad Farhan Awal Mahza
NIM : 17 511 126



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

PEMERIKSAAN TITIK NYALA & TITIK BAKAR ASPAL PEN 60/70

Material : Aspal Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tahun Uji : 2022

No	Urutan Pemeriksaan	Suhu	Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	27°C	13.00 WIB
	Selesai	130°C	13.15 WIB
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	130°C	13.15 WIB
	Selesai	27°C	13.45 WIB
3	Diperiksa		
	Mulai	27°C	13.45 WIB
	Selesai	27°C	14.15 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji	Titik Nyala	Titik Bakar
1	Benda Uji 1	344	349

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Peneliti

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Ahmad Farhan Awal Mahza
NIM : 17 511 126



Lampiran 4 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL PEN 60/70

Material : Aspal Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tahun Uji : 2022

No	Urutan Pemeriksaan	Suhu	Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	27°C	10.00 WIB
	Selesai	130°C	10.30 WIB
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	130°C	10.30 WIB
	Selesai	27°C	13.00 WIB
3	Diperiksa		
	Mulai	27°C	13.00 WIB
	Selesai	27°C	13.30 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian	
	1 (mm)	2 (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	62	61		
2	70	64,5		
3	62	65		
4	63,5	70		
5	67	70		
Rata-Rata	64,9	66,1		
Rerata	65,5			

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Peneliti

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Ahmad Farhan Awal Mahza
NIM : 17 511 126



Lampiran 5 Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam TCE

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM TCE

Material : Aspal Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tahun Uji : 2022

No	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan Waktu	
			Waktu (WIB)	Suhu (°C)
1	Penimbangan	Mulai	14,30	27
2	Pelarutan	Mulai	14,40	27
3	Penyaringan	Mulai	14,45	27
		Selesai	15,15	27
4	Di Oven	Mulai	15,15	110
5	Penimbangan	Selesai	15,30	27

HASIL PENGAMATAN

No	Pemeriksaan	1 Benda Uji 2	
1	Berat Erlen Mayer Kosong	63,57	63,59
2	Berat Erlen Mayer Kosong + Aspal	65,02	65,44
3	Berat Aspal (2-1)	1,45	1,85
4	Berat Kertas Saring Basah	0,58	0,57
5	Berat Kertas Saring Basah + Mineral	0,59	0,57
6	Berat Mineral (5-4)	0,01	0
7	Persentase Mineral (6/3 x 100%)	0,69	0
8	Aspal yang Larut (100%-7)	99,31	100
9	Rata-Rata Aspal Yang Larut	99,66	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Peneliti

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Ahmad Farhan Awal Mahza
NIM : 17 511 126



Lampiran 6 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN DAKTILITAS ASPAL PEN 60/70

Material : Aspal Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tahun Uji : 2022

No	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan Benda Uji	Aspal Dipanaskan	15 Menit	Pembacaan Suhu Oven \pm 135°C
2	Mendinginkan Benda Uji	Didiamkan Pada Suhu Ruang	60 Menit	Pembacaan ruang \pm 27°C
3	Perendaman Benda Uji	Direndam Dalam Waterbath pada suhu 25°C	60 Menit	Pembacaan Suhu waterbath \pm 27°C
4	Pemeriksaan	Pengujian pada suhu 25°C	20 menit	Pembacaan Suhu alat \pm 25°C

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji	Hasil Pengujian	keterangan
1	Sampel 1	165	Tidak Putus
2	Sampel 2	165	Tidak Putus

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Peneliti

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Ahmad Farhan Awal Mahza
NIM : 17 511 126



Lampiran 7 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2022

No	Pemeriksaan	Benda Uji (gr)		Rata-Rata
		1	2	
1	Berat Benda Uji Dalam Keadaan Basah Jenuh (BJ)	1630,47	1632,58	1631,525
2	Berat Benda Uji Dalam Air (BA)	1005,98	1007,86	1006,920
3	Berat Benda Uji Kering Oven (BK)	1595,7	1596,57	1596,135
4	Berat Jenis (Bulk) = $BK/(BJ-BA)$	2,555	2,556	2,555
5	Berat Jenis (SSD) = $BJ/(BJ-BA)$	2,611	2,613	2,612
6	Berat Jenos (Semu) = $BK/(BK-BA)$	2,706	2,712	2,709
7	Penyerapan Air = $(BJ-BK)/BK \times 100\%$	2,179	2,255	2,217
8	Berat Cawan	329,450	336,700	
9	Berat Jenis Efektif = $(BJ \text{ Bulk} + BJ \text{ Semu}) / 2$	2,631	2,634	
10	Berat Jenis Efektif Rata-Rata	2,632		

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Peneliti

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Ahmad Farhan Awal Mahza
NIM : 17 511 126



Lampiran 8 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2022

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Urutan Pemeriksaan	Suhu	Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	25°C	09.00 WIB
	Selesai	150°C	09.15 WIB
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	150°C	09.15 WIB
	Selesai	25°C	10.45 WIB
3	Diperiksa		
	Mulai	25°C	10.45 WIB
	Selesai	25°C	11.30 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji	% Terselimuti Aspal	Keterangan
1	Benda Uji 1	98%	Memenuhi
2	Benda Uji 2	98%	Memenuhi

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Peneliti

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Ahmad Farhan Awal Mahza
NIM : 17 511 126



Lampiran 9 Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin *Los Angeles*

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT DENGAN MESIN *LOS ANGELES*

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng,
Tahun Uji : 2022

No	Jenis Agregat		Sampel	
	Saringan		1(500 putaran)	2 (100 putaran)
	Lolos	Saringan		
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 mm (3/4")		
6	19 mm (3/4")	12,5 mm (0,5")	2500	2500
7	12,5 mm (0,5")	9,5 mm (3/8")	2500	2500
8	9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")		
9	6,3 mm (1/4")	4,75 mm (No. 4)		
10	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)		
11	JUMLAH BENDA UJI (A)		5000	5000
12	JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE 12 (B)		3809	4712,24
13	KEAUSAN = $(A-B)/A \times 100$		23,82%	5,75%
RATA-RATA			14,79%	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Peneliti

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Ahmad Farhan Awal Mahza
NIM : 17 511 126



Lampiran 10 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

Material : Agregat Halus
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2022

No	Pemeriksaan	Benda Uji (gr)		Rata-Rata
		1	2	
1	Berat Benda Uji Dalam Keadaan Basah Jenuh (BJ)	501,86	501,06	501,460
2	Berat Vicnometer + Air (B)	692,34	668,42	680,380
3	Berat Vicnometer + Air + Benda Uji (BT)	1015,27	988,03	1001,650
4	Berat Benda Uji Kering Oven (BK)	494,55	492,57	493,560
5	Berat Jenis (Bulk) = $(BK / ((B+500) - BT))$	2,79	2,73	2,762
6	Berat Jenis (SSD) = $(500 / ((B+500) - BT))$	2,82	2,77	2,798
7	Berat Jenos (Semu) = $(BK / ((B+BK) - BT))$	2,88	2,85	2,865
8	Penyerapan Air = $(500 - BK) / BK \times 100\%$	1,10	1,51	
9	Berat Jenis Efektif = $(BJ \text{ Bulk} + BJ \text{ Semu}) / 2$	2,84	2,79	
10	Berat Jenis Efektif Rata-Rata	2,81		

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Peneliti

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Ahmad Farhan Awal Mahza
NIM : 17 511 126



Lampiran 11 Pemeriksaan *Sand Equivalent*

PEMERIKSAAN SAND EQUIVALENT

Material : Agregat Halus
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2022

No.	Keterangan	Benda Uji			
			1	2	Rata - Rata
1	Persiapan dan Perendaman Benda Uji Dalam Larutan CaCl ₂ selama (\pm 10 menit)	Mulai	11.25	11.25	
		Selesai	11.35	11.35	
2	Waktu Pengendapan (Benda Uji setelah di gojok sebanyak 90x, dan ditambah larutan CaCl ₂)	Mulai	11.37	11.37	
		Selesai	11.40	11.40	
3	<i>Clay Reading</i> (Pembacaan Lumpur) Inchi		3,7	3,8	3,75
4	<i>Sand Reading</i> (Pembacaan Pasir)		3,2	3,6	3,4
5	<i>Sand Equivalent</i> (4/3 x 100%)		0,865	0,947	90,612

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Peneliti

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Ahmad Farhan Awal Mahza
NIM : 17 511 126



Lampiran 12 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler*

PEMERIKSAAN BERAT JENIS *FILLER*

Material : *Filler*
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2022

No	Pemeriksaan	1 Benda Uji (gr) 2	
1	Berat Vicnometer Kosong (gr)	12,04	11,84
2	Berat Vicnometer + Aquadest (gr)	29,24	29,22
3	Berat Vicnometer (2-1) (gr)	17,2	17,38
4	Berat Vicnometer + <i>Filler</i> (gr)	13,09	13,24
5	Berat <i>Filler</i> (gr)	1,05	1,4
6	Berat Vicnometer + <i>Filler</i> + Aquadest (gr)	29,88	30,07
7	Berat Aquadest (6-4) (gr)	16,79	16,83
8	Volume <i>Filler</i> (3-7) (gr)	0,41	0,55
9	Berat Jenis <i>Filler</i> = Berat/Vol (5/8)	2,56	2,55
10	Rata-Rata Berat Jenis <i>Filler</i>	2,55	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Peneliti

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Ahmad Farhan Awal Mahza
NIM : 17 511 126



Lampiran 13 Hasil Pengujian Marshall Test untuk Mencari KAO

HASIL PENGUJIAN MARSHALL TEST UNTUK MENCARI KAO

Tiper Campuran : Stone Matrix Asphalt (SMA)
Tahun Uji : 2022

SAMPSEL	Tinggi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density													
5.5A	7,383	5,820	5,5	1175,83	1194,27	644,05	550,22	2,1570	2,4124	11,1108	77,473	11,415	22,325	49,236	11,415	40	591,63327	0,794375	469,979	2,9	162,062
5.5B	6,920	5,820	5,5	1176,94	1194,61	652,33	542,28	2,1704	2,4124	11,2841	78,683	10,033	21,317	52,935	10,033	51	754,33242	0,89	471,256	3,18	211,118
5.5C	7,090	4,712	5,5	1176,58	1192,89	643,4	549,49	2,1412	2,4124	11,1326	77,627	11,240	22,373	48,759	11,240	47	695,16909	0,85	590,894	2,57	229,920
								2,1495					22,0716	50,8735	10,8958		680,3783		577,4094	2,8833	201,0332
6A	6,700	6,383	6	1063,11	1087,47	570,03	517,44	2,0546	2,3961	11,6531	74,091	14,256	25,909	44,977	14,256	20	295,81663	0,9223	272,891	3,4	80,262
6B	6,927	6,383	6	1174,76	1186,48	639,64	546,84	2,1483	2,3961	12,1847	77,471	10,345	22,529	54,083	10,345	65	961,40406	0,89	855,650	2,43	352,119
6C	7,413	5,263	6	1288,74	1298,44	708,33	590,11	2,1839	2,3961	12,3867	78,753	8,838	21,245	58,305	8,838	65	961,40406	0,78875	758,307	2,82	268,903
								2,1661					21,8870	56,1942	6,9613		961,4041		806,9783	2,6250	316,5113
6.5A	6,583	6,952	6,5	1179,69	1190,39	660,41	529,98	2,2259	2,3801	13,6771	79,844	6,479	20,156	67,855	6,479	70	1035,3382	0,94625	979,708	3,28	298,6911
6.5B	7,187	6,952	6,5	1181,45	1200,39	650,63	549,76	2,1490	2,3801	13,2047	77,086	9,710	22,914	57,626	9,710	70	1035,3382	0,824167	853,308	3,42	249,505
6.5C	6,877	5,820	6,5	1174,7	1186,67	647,5	539,17	2,1787	2,3801	13,3871	78,151	8,462	21,849	61,270	8,462	70	1035,3382	0,89	921,469	2,08	443,014
								2,1846					21,6400	62,2506	8,2170		1035,3382		918,1614	2,9267	330,4035
7A	6,503	7,527	7	1171,02	1176,44	656,37	520,07	2,2517	2,3643	14,8996	80,333	4,765	19,665	75,767	4,765	58	857,86824	0,961667	824,983	2,94	280,607
7B	6,363	7,527	7	1169,2	1175,07	651,83	523,24	2,2345	2,3643	14,7863	79,724	5,489	20,276	72,926	5,489	69	1020,2674	0,95	969,539	2,77	350,014
7C	6,943	6,383	7	1233,68	1242,16	685,68	556,48	2,2169	2,3643	14,6698	79,096	6,234	20,904	70,178	6,234	84	1242,4399	0,89	1105,763	2,38	484,984
								2,2344					20,2814	72,9171	6,8962		1040,28850		966,7616	2,6633	371,8681
7.5A	6,967	8,108	7,5	1243,19	1248,72	689,63	559,09	2,2236	2,3487	15,7649	78,907	5,328	21,093	74,741	5,328	49	724,75075	0,89	645,028	2,3	280,447
7.5B	6,913	8,108	7,5	1232,35	1236,46	692,21	544,25	2,2643	2,3487	16,0535	80,352	3,994	19,648	81,706	3,994	34	502,88828	0,89	447,571	2,08	215,178
7.5C	6,830	6,952	7,5	1234,32	1237,72	689,48	548,24	2,2514	2,3487	15,9621	79,895	4,143	20,105	79,393	4,143	59	872,65907	0,89	776,667	2,93	265,074
								2,2464					20,2819	78,6134	4,3551		700,0994		623,0884	2,4367	253,5664

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Peneliti

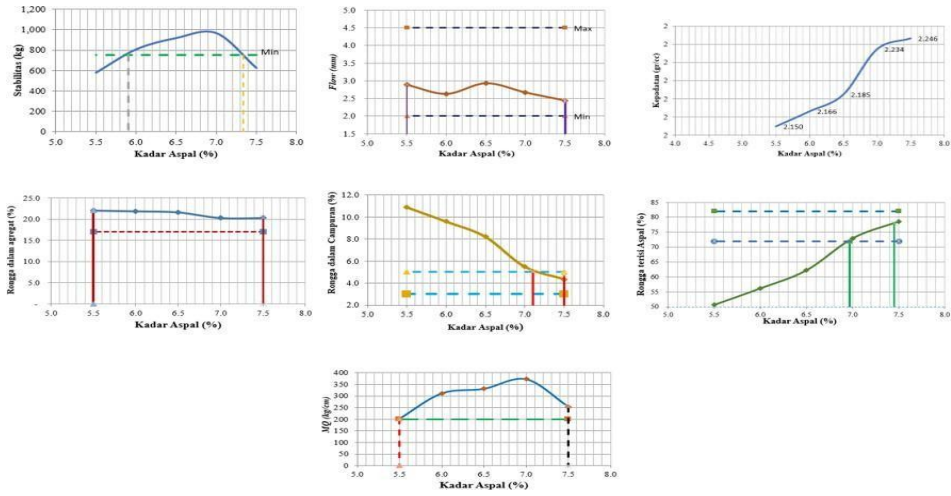
Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Ahmad Farhan Awal Mahza
NIM : 17 511 126



Lampiran 14 Grafik Hasil Pengujian Marshall Test untuk Mencari KAO

GRAFIK HASIL PENGUJIAN MARSHALL TEST UNTUK MENCARI KAO



Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Peneliti

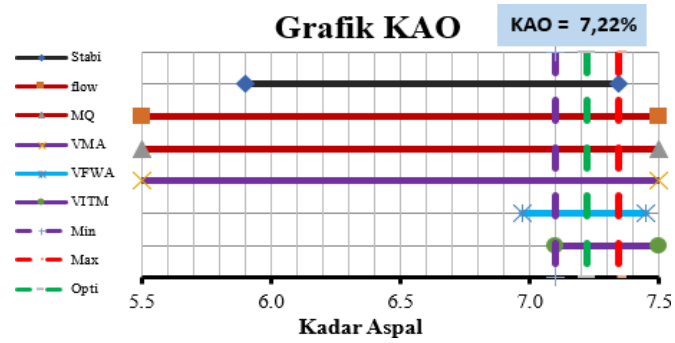
Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Ahmad Farhan Awal Mahza
NIM : 17 511 126



Lampiran 15 Grafik Hasil Kadar Aspal Optimum (KAO)

GRAFIK HASIL KADAR ASPAL OPTIMUM (KAO)



Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Peneliti

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Ahmad Farhan Awal Mahza
NIM : 17 511 126



HASIL PENGUJIAN MARSHALL TEST DENGAN DUA METODE PENCAMPURAN

Tiper Campuran : Stone Matrix Asphalt (SMA)
Tahun Uji : 2022

SAMPLE	Tinggi (cm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G Density	H	I	J	K	L VMA (%)	M VFA (%)	N VIM (%)	O Meas	P	Q		R Stabilitas (kg)	S Flow (cm)	T MQ (kg/mm)
																		Koreksi	0,89			
TKA	6,503	7,527	7	1171,02	1176,44	656,37	520,07	2,2517	2,2392	14,8996	81,771	3,330	18,229	81,734	3,330	58	857,88824	0,961666667	824,283	2,84	280,607	
TKB	6,563	7,527	7	1169,2	1175,07	651,83	523,24	2,2345	2,2392	14,7863	81,149	4,065	18,821	78,437	4,065	69	1020,5674	0,9700	969,539	2,28	425,236	
TKC	6,943	7,527	7	1233,68	1242,16	685,68	526,48	2,2169	2,2392	14,6698	80,510	4,821	19,499	75,267	4,821	84	1242,4399	0,89	1105,765	2,77	399,192	
								2,2257					19,1708	76,8518	4,4428		1026,1491		1037,6208	2,5259	412,2143	
TDTA	6,480	7,527	7	1193,69	1202,26	666,32	525,94	2,2273	2,2392	14,7283	80,885	4,376	19,115	77,105	4,376	69	1020,5674	0,9875	1007,810	3,2	314,941	
TDTB	6,370	7,527	7	1192,78	1205,45	667,89	527,58	2,2189	2,2392	14,6826	80,580	4,737	19,420	75,696	4,737	67	990,98572	0,995	986,031	3,12	316,036	
TDTC	6,130	7,527	7	1195,47	1205,58	669,94	523,64	2,2402	2,2392	14,8239	81,255	3,821	18,645	79,596	3,821	72	1064,9399	1,0288	1127,505	3,15	327,928	
								2,2221					19,8524	77,1582	4,2791		1005,7766		1026,7679	3,1259	326,9888	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Peneliti

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Ahmad Farhan Awal Mahza
NIM : 17 511 126



HASIL PENGUJIAN *IMMERSION TEST* DENGAN DUA METODE PENCAMPURAN

Tiper Campuran : *Stone Matrix Asphalt (SMA)*
Tahun Uji : 2022

SAMPLE	Tinggi (cm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G Density	H	I	J	K	L VMA (%)	M VFVA (%)	N VTM (%)	O Meas	P	Q		R
																		Koreksi	Stabilitas (kg)	
7KA	6.480	7.527	7	1174.84	1177.57	667.38	510.19	2.3027	2.3292	15.2376	83.636	1.136	16.374	93.060	1.136	45	665.58743	0.961666667	640.073	
7KB	6.424	7.527	7	1167.84	1173.02	661.84	511.18	2.2846	2.3292	15.1175	82.967	1.916	17.033	88.753	1.916	43	636.00576	0.9500	604.205	
7KC	6.674	7.527	7	1175.47	1179.18	663.33	515.85	2.2787	2.3292	15.0785	82.753	2.169	17.247	87.426	2.169	42	621.21493	0.89	552.881	
								2.2817					17.1402	88.0894	2.0422		628.6103		578.5434	
7DTA	6.408	7.527	7	1177.33	1181.04	667.64	513.4	2.2932	2.3292	15.1745	83.279	1.546	16.721	90.752	1.546	50	739.54158	0.9875	730.297	
7DTB	6.265	7.527	7	1184.59	1187.85	672.96	514.89	2.3007	2.3292	15.2239	83.550	1.226	16.450	92.548	1.226	54	798.70491	0.995	794.711	
7DTC	6.474	7.527	7	1181.25	1184.79	669.20	515.59	2.2911	2.3292	15.1603	83.202	1.638	16.798	90.249	1.638	46	680.37826	1.0588	720.350	
								2.2959					16.6240	91.3983	1.4319		739.5416		757.5309	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Peneliti

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Ahmad Farhan Awal Mahza
NIM : 17 511 126



HASIL PENGUJIAN INDEKS DURABILITAS PERTAMA (IDP) DAN INDEKS DURABILITAS
KEDUA (IDK) DENGAN DUA METODE PENCAMPURAN

Pen 60/70 (%)	Immersion (Jam)	Nilai IKS (%)	Nilai IDP (%)
Konvensional	0,5	100	1,883
	24	55,76	
Dua Tahap	0,5	100	1,205
	24	71,68	

0	Immersion (Jam)	Nilai IKS (%)	Penurunan (%)	Waktu (Jam)	IDK (%)	Sa (%)
0	0,5	100	44,24	23,5	21,662	78,338
	24	55,76				
0	0,5	100	28,32	23,5	13,863	86,137
	24	71,68				

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Peneliti

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Ahmad Farhan Awal Mahza
NIM : 17 511 126



**HASIL PENGUJIAN *INDIRECT TENSILE STRENGTH (ITS)* DENGAN DUA METODE
PENCAMPURAN**

Sampel		Tebal Sampel (cm)				Koreksi	Diameter Sampel (cm)	Diameter Sampel (inch)	Meas	Meas x Kalibras	Stabilitas (Kg)	A0	ITS (kg/cm ²)	Rata-Rata	
		1	2	3	Rata-rata										
<i>Uncondition</i>															
Konvensional	7A	A	6,34	6,37	6,39	6,367	0,9958	10,2	4,08	28	414,143	412,4177	0,153	9,90	14,57
		B	6,44	6,39	6,41	6,413	0,984	10,3	4,12	38	562,052	553,1525	0,151	13,06	
		C	6,22	6,2	6,26	6,227	1,0308	10,2	4,08	43	636,006	655,6159	0,153	16,09	
Dua Tahap	7B	A	6,41	6,37	6,4	6,393	0,989	10,3	4,12	39	576,842	570,5933	0,151	13,51	14,73
		B	6,36	6,32	6,33	6,337	1,0033	10,3	4,12	44	650,797	652,9659	0,151	15,60	
		C	6,45	6,48	6,5	6,477	0,968	10,2	4,08	41	606,424	587,2207	0,153	13,85	
<i>Condition</i>															
Konvensional	7A	A	6,48	6,37	6,35	6,400	0,9875	10,2	4,08	35	517,679	511,2081	0,153	12,21	11,54
		B	6,43	6,47	6,45	6,450	0,975	10,2	4,08	32	473,307	461,4739	0,153	10,93	
		C	6,53	6,57	6,56	6,553	0,9519	10,2	4,08	37	547,261	520,9238	0,153	12,15	
Dua Tahap	7B	A	6,16	6,13	6,16	6,150	1,053	10,3	4,12	39	576,842	607,1267	0,151	14,95	12,60
		B	6,3	6,33	6,32	6,317	1,0083	10,2	4,08	35	517,679	521,9931	0,153	12,63	
		C	6,43	6,44	6,45	6,440	0,978	10,3	4,12	37	547,261	534,9474	0,151	12,58	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Peneliti

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Ahmad Farhan Awal Mahza
NIM : 17 511 126



HASIL PENGUJIAN *TENSILE STRENGTH RATIO (TSR)* DENGAN DUA METODE
PENCAMPURAN

Metode Pencampuran	<i>ITS Uncondition</i>	<i>ITS Condition</i>	<i>TSR (%)</i>
Konvensional	14,57	11,54	79,18
Dua Tahap	14,73	12,60	85,57

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Peneliti

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Ahmad Farhan Awal Mahza
NIM : 17 511 126



HASIL PENGUJIAN *CANTABRO LOSS* DENGAN DUA METODE PENCAMPURAN

Sampel			Berat Sebelum Diabrasi (M0)	Berat Setelah Diabrasi (M1)	Kehilangan Berat (L)	Rata-Rata
			gr	gr	%	%
Konvensional	7	A	1170,38	1153,35	1,46	2,39
		B	1167,69	1139,55	2,41	
		C	1168,01	1140,41	2,36	
Dua Tahap	7	A	1170,04	1130,38	3,39	2,17
		B	1183,42	1158,06	2,14	
		C	1169,58	1143,91	2,19	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Peneliti

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Ahmad Farhan Awal Mahza
NIM : 17 511 126



**HASIL PENGUJIAN ASPHALT FLOW DOWN (AFD) DENGAN DUA METODE
PENCAMPURAN**

Sampel		Berat			Berat Aspal Meleleh (m3-m1)	Berat Total Sampel (m2-m1)	Nilai <i>AFD</i>	Rata-Rata Nilai <i>AFD</i>
		m1 (berat cetakan)	m2 (sebelum oven)	m3 (sesudah oven)				
		gr	gr	gr	gr	gr	%	%
Konvensional	7	A	190,41	1351,84	191,10	0,69	1161,43	0,06
		B	193,21	1348,7	194,21	1,00	1155,49	0,09
		C	192,34	1397,42	194,21	5,90	1205,08	0,49
Dua Tahap	7	A	343,45	1556,9	344,73	1,28	1213,45	0,11
		B	346,9	1559,7	348,80	1,90	1212,8	0,16
		C	351,9	1539,63	354,15	2,25	1187,73	0,19

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Peneliti

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Ahmad Farhan Awal Mahza
NIM : 17 511 126



HASIL PENGUJIAN T-TEST TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL TEST

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Stabilitas	Equal variances assumed	5.791E+13	.000	-.195	2	.864	-19.11715	98.19857	-441.63150	403.39720
	Equal variances not assumed			-.195	1.997	.864	-19.11715	98.19857	-442.21064	403.97634

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Flow	Equal variances assumed			-2.485	2	.131	-.61000	.24546	-1.66612	.44612
	Equal variances not assumed			-2.485	1.007	.242	-.61000	.24546	-3.67454	2.45454

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Density	Equal variances assumed	1.097E+15	.000	-.276	2	.809	-.00381	.01383	-.06333	.05570
	Equal variances not assumed			-.276	1.930	.810	-.00381	.01383	-.06544	.05781

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
VMA	Equal variances assumed			.276	2	.809	.13841	.50232	-2.02289	2.29970
	Equal variances not assumed			.276	1.930	.810	.13841	.50232	-2.09953	2.37634

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
VITM	Equal variances assumed	2.897E+14	.000	.276	2	.809	.16362	.59385	-2.39149	2.71874
	Equal variances not assumed			.276	1.930	.810	.16362	.59385	-2.48209	2.80934

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
VFWA	Equal variances assumed			-.281	2	.805	-.70500	2.51291	-11.51719	10.10719
	Equal variances not assumed			-.281	1.920	.806	-.70500	2.51291	-11.96150	10.55150

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
MQ	Equal variances assumed	4.700E+15	.000	3.049	2	.093	75.22500	24.66887	-30.91658	181.36658
	Equal variances not assumed			3.049	1.673	.115	75.22500	24.66887	-53.54007	203.99007



HASIL PENGUJIAN T-TEST TERHADAP KARAKTERISTIK IMMERSION TEST

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances					t-test for Equality of Means			95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper	
IRS	Equal variances assumed	2.015E+16	.000	-1423.481	2	.000	-15.91500	.01118	-15.96311	-15.86689	
	Equal variances not assumed			-1423.481	1.471	.000	-15.91500	.01118	-15.98419	-15.84581	

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances					t-test for Equality of Means			95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper	
IDP	Equal variances assumed	2.992E+16	.000	135.000	2	.000	.67500	.00500	.65349	.69651	
	Equal variances not assumed			135.000	1.000	.005	.67500	.00500	.61147	.73853	

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances					t-test for Equality of Means			95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper	
IDK	Equal variances assumed	.000	1.000	1103.087	2	.000	7.80000	.00707	7.76958	7.83042	
	Equal variances not assumed			1103.087	2.000	.000	7.80000	.00707	7.76958	7.83042	

HASIL PENGUJIAN T-TEST TERHADAP KARAKTERISTIK INDIRECT TENSILESTRENGTH (ITS)

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances					t-test for Equality of Means			95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper	
ITS	Equal variances assumed			-.086	2	.939	-.15000	1.74953	-7.67761	7.37761	
	Equal variances not assumed			-.086	1.600	.941	-.15000	1.74953	-9.79990	9.49990	

HASIL PENGUJIAN T-TEST TERHADAP KARAKTERISTIK TENSILE STRENGTHRATIO (TSR)

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances					t-test for Equality of Means			95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper	
TSR	Equal variances assumed	2.142E+15	.000	-.329	2	.773	-.61000	1.85188	-8.57799	7.35799	
	Equal variances not assumed			-.329	1.794	.776	-.61000	1.85188	-9.52038	8.30038	



HASIL PENGUJIAN *T-TEST* TERHADAP KARAKTERISTIK *CANTABRO LOSS*

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances					t-test for Equality of Means			
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Cantabro	Equal variances assumed	.000	1.000	6.223	2	.025	.22000	.03536	.06788	.37212
	Equal variances not assumed			6.223	2.000	.025	.22000	.03536	.06788	.37212

HASIL PENGUJIAN *T-TEST* TERHADAP KARAKTERISTIK *ASPHALT FLOW DOWN(AFD)*

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances					t-test for Equality of Means			
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
AFD	Equal variances assumed	3.261E+18	.000	.573	2	.624	.11500	.20056	-.74795	.97795
	Equal variances not assumed			.573	1.011	.668	.11500	.20056	-2.36735	2.59735

Lampiran 29 Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

1. Vicnometer



2. Timbangan Digital



3. Aspal/Bitumen



Lampiran 30 Gambar Alat Pemeriksaan Penetrasi Aspal

1. Termometer



2. Senter



3. Stopwatch



4. Cawan Berisi Aspal



5. Alat Penetrasi Aspal



Lampiran 31 Gambar Alat Pemeriksaan Daktilitas Aspal

1. Termometer



2. Mesin Uji Daktilitas



Lampiran 32 Gambar Alat Pemeriksaan Titik Lembek Aspal

1. Termometer



4. Alat Pemanas



2. Stopwatch



5. Cincin Kuningan



3. Bejana Gelas



Lampiran 33 Gambar Alat Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal

1. Termometer



2. Alat Uji Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal



Lampiran 34 Gambar Alat Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam TCE

1. Bejana Gelas



2. Pengaduk



3. Timbangan



4. Larutan TCE



5. Aspal



6. Kertas Saring



7. Oven



8. Alat Pompa



Lampiran 35 Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

1. Timbangan + Keranjang Kawat



2. Oven



3. Kain Lap



Lampiran 36 Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

1. Vicnometer



2. Oven



3. Cone dan Penumbuk



4. Timbangan



Lampiran 37 Gambar Alat Pemeriksaan Kelekatan Agregat terhadap Aspal

1. Bejana Gelas



2. Termometer



3. Oven



Lampiran 38 Gambar Alat Pemeriksaan Keausan Agregat

1. Mesin *Los Angeles*



2. Bola Baja



3. Oven



4. Timbangan



Lampiran 39 Gambar Alat Pemeriksaan *Sand Equivalent*

1. Silinder Ukur



2. Alat Pengujian



3. Larutan CaCl_2



Lampiran 40 Gambar Alat Analisis Saringan

1. Mesin Pengguncang Saringan



2. Saringan



3. Timbangan



4. Wadah



5. Kuas



Lampiran 41 Gambar Pembuatan Sampel Campuran Metode Konvensional

1. Menyiapkan agregat dalam plastik.



2. Memanaskan agregat hingga $\pm 165^{\circ}\text{C}$.



3. Memanaskan aspal hingga $\pm 165^{\circ}\text{C}$.



4. Mencampurkan aspal panas ke dalam agregat yang sudah dipanaskan hingga homogen



Lanjutan Lampiran 41 Gambar Pembuatan Sampel Campuran Metode Konvensional

5. Memasukkan campuran ke dalam cetakan yang sudah dipasang di mesin penumbuk dan sudah diberi lapisan kertas minyak, lalu dipadatkan dengan spatula.



6. Menumbuk campuran di dalam cetakan sebanyak 50x pada bagian atas atau pun sebaliknya.



7. Dinginkan campuran.



8. Keluarkan campuran dari cetakan dengan *ejector*.



Lanjutan Lampiran 41 Gambar Pembuatan Sampel Campuran Metode Konvensional

9. Memberi tanda pada campuran.



Lampiran 42 Gambar Pembuatan Sampel Campuran Metode Dua Tahap

1. Menyiapkan agregat kasar dan agregat halus.



2. Memanaskan agregat kasar dan agregat halus dengan suhu $\pm 165^{\circ}\text{C}$.



3. Memanaskan Aspal hingga $\pm 165^{\circ}\text{C}$.



4. Menambahkan serat selulosa sebanyak 0,3% kedalam aspal dan diaduk hingga serat larut dalam aspal.



Lanjutan Lampiran 42 Gambar Pembuatan Sampel Campuran Metode Dua Tahap

5. Memasukan aspal ke wajan yang berisi agregat kasar, lalu dicampur hingga merata.



6. Memasukan agregat halus ke dalam campuran agregat kasar.



Selanjutnya sama dengan langkah-langkah 5-9 pada pencampuran konvensional

Lampiran 43 Gambar Pengujian *Marshall Test* dan *Immersion Test*

1. Menimbang berat benda uji dan mengukur benda uji



2. Merendam benda uji dalam air selama ± 24 jam.



3. Merendam benda uji di dalam air, kemudian keringkan benda uji.



Lanjutan Lampiran 43 Gambar Pengujian *Marshall Test* dan *Immersion Test*

4. Menimbang benda uji.



5. Masukkan benda uji kedalam *waterbath* dengan suhu 60°C selama 30 menit untuk *Marshall Test* dan 24 jam untuk *Immersion Test*.



6. Uji dengan alat *Marshall Test* dan dicatat hasilnya.



Lampiran 44 Gambar Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* dan *Tensile Strength Ratio (TSR)*

1. Mengukur benda uji dan menimbang berat benda uji.



2. Masukkan benda uji kedalam *waterbath* dengan suhu 60°C selama 30 menit untuk *Indirect Tensile Strength* dan 24 jam untuk *Tensile Strength Ratio*.



3. Uji dengan alat *Marshall Test* dengan ring untuk pengujian kuat tarik dan dicatat hasilnya.



Lampiran 45 Gambar Pengujian *Cantabro Loss*

1. Menimbang berat benda uji.



2. Masukkan benda uji kedalam mesin *Los Angeles* dan diputar sebanyak 300x



3. Keluarkan benda uji kemudian ditimbang dan dicatat hasilnya.



Lampiran 46 Gambar Pengujian *Asphalt Flow Down (AFD)*

1. Memasak Benda Uji.



2. Menimbang wadah yang di alaskan dengan aluminium foil



3. Menuangkan campuran ke dalam wadah dan ditimbang



4. Memasukkan wadah berisi campuran ke dalam oven dengan suhu 160°C selama ± 60 menit.



5. Mengeluarkan wadah dari dalam oven, kemudian di tumpahkan campuran ke dalam penampung dengan sisa aspal yang menempel ditimbang dan dicatat hasilnya.