

TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN METODE PENCAMPURAN
KONVENSIONAL DAN METODE PENCAMPURAN
DUA TAHAP TERHADAP KINERJA *HOT ROLLED
ASPHALT (HRA)*
(*COMPARISON OF CONVENTIONAL MIXING
METHODS AND TWO-PHASE MIXING METHODS ON
THE PAVEMENT OF HOT ROLLED ASPHALT (HRA)*)**

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



**Maulana Firdaus
17511206**

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

TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN PENGARUH METODE PENCAMPURAN KONVENSIONAL DAN METODE PENCAMPURAN DUA TAHAP TERHADAP KINERJA *HOT ROLLED ASPHALT (HRA)* (*COMPARISON OF CONVENTIONAL MIXING METHODS AND TWO-PHASE MIXING METHODS ON THE PAVEMENT OF HOT ROLLED ASPHALT (HRA)*)

Disusun oleh

Maulana Firdaus
17511206

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

Diuji pada tanggal 24 Agustus 2023

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing

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

Penguji I

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

Penguji II

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



Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa 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 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 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

Penulis

Maulana Rirdaus
(17511206)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Kinerja Hot Rolled Asphalt (HRA) (Comparison of Conventional Mixing Methods and Two-Phase Mixing Methods on The Pavement of Hot Rolled Asphalt (HRA))*. 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 Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah 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 Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. dan Ibu Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc., selaku Dosen Penguji yang memberikan penilaian terhadap Tugas Akhir ini.
3. Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Prayogo Afang, S.T., M.T., selaku Kepala Laboratorium Jalan Raya UII yang telah mengizinkan dan memberikan arahan dalam penelitian hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
5. Staff Laboratorium Jalan Raya UII, yang telah membantu dalam proses penelitian hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

6. Bapak/Ibu seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu semasa kuliah.
7. Bapak Riyadi dan Ibu Sri Sudarmi, selaku orang tua penulis yang senantiasa memberi doa dan semangat.
8. Rizki Puspita, Dina Puspita, dan Marini Puspita, selaku saudara kandung penulis yang terus memberi dukungan untuk cepat menyelesaikan.
9. Teman-teman serta semua pihak yang telah membantu selama pelaksanaan dan penyusunan Tugas Akhir ini.

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

Yogyakarta, 2023
Penulis,

Maulana Firdaus
(17511206)

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvi
ABSTRAK	xix
<i>ABSTRACT</i>	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batas Penelitian	4
BAB II STUDI PUSTAKA	6
2.1 Umum	6
2.2 Kinerja Perkerasan Aspal dengan Campuran <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>	6
2.3 Kinerja Perkerasan dengan Berbagai Metode	7
2.4 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya	9
BAB III LANDASAN TEORI	13
3.1 Campuran <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>	13
3.2 Karakteristik Material Penyusun <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>	13
3.2.1 Agregat	13

3.2.2	Gradasi Agregat <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>	16
3.2.3	Aspal	17
3.3	Metode Pencampuran Perkerasan <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>	18
3.4	Karakteristik Campuran <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>	19
3.5	Pengujian <i>Marshall (Marshall Test)</i>	22
3.5.1	Pengujian Nilai Stabilitas (<i>Stability</i>)	22
3.5.2	Pengujian Nilai Kepadatan (<i>Density</i>)	22
3.5.3	Pengujian Nilai Kelelehan (<i>Flow</i>)	23
3.5.4	Pengujian Jenis Volume Pori	24
3.5.5	Perhitungan <i>Marshall Quotient (MQ)</i>	28
3.6	Pengujian Perendaman (<i>Immersion Test</i>)	29
3.7	Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	31
3.8	Pengujian <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i>	33
3.9	Pengujian <i>Cantabro Loss</i>	33
3.10	Pengujian <i>Asphalt Flow Down (AFD)</i>	34
BAB IV METODE PENELITIAN		35
4.1	Metode Penelitian	35
4.2	Metode Pengumpulan Data	35
4.3	Tahapan Penelitian	36
4.3.1	Persiapan Alat	37
4.3.2	Persiapan Bahan	38
4.3.3	Perencanaan Campuran	40
4.3.4	Pembuatan Benda Uji	44
4.3.5	Pengujian <i>Marshall Test</i>	47
4.3.6	Pengujian <i>Immersion Test</i>	48
4.3.7	Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	49
4.3.8	Pengujian <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i>	49
4.3.9	Pengujian <i>Cantabro Loss</i>	50
4.3.10	Pengujian <i>Asphalt Flow Down (AFD)</i>	50
4.4	Analisis Data	50
4.5	Bagan Alir Penelitian	53

BAB V HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN	56
5.1 Hasil Pengujian	56
5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat dan <i>Filler</i>	56
5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	57
5.1.3 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)	58
5.1.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal Optimum (KAO)	60
5.1.5 Hasil Pengujian pada Kadar Aspal Optimum (KAO)	61
5.1.6 Hasil Analisis Statistik <i>T-Test</i>	62
5.2 Pembahasan	64
5.2.1 Pembahasan Karakteristik Agregat Kasar	64
5.2.2 Pembahasan Karakteristik Agregat Halus	65
5.2.3 Pembahasan Karakteristik <i>Filler</i>	66
5.2.4 Pembahasan Karakteristik Aspal	66
5.2.5 Pembahasan Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)	68
5.2.6 Pembahasan Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik <i>Marshall</i>	75
5.2.7 Pembahasan Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik <i>Immersion Test</i>	84
5.2.8 Pembahasan Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	90
5.2.9 Pembahasan Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i>	92
5.2.10 Pembahasan Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik <i>Cantabro Loss</i>	94
5.2.11 Pembahasan Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik <i>Asphalt Flow Down (AFD)</i>	95
5.3 Rekapitulasi Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik Campuran <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>	96

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	99
6.1 Kesimpulan	99
6.2 Saran	101
DAFTAR PUSTAKA	103
LAMPIRAN	106

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Sekarang dengan Penelitian Terdahulu	10
Tabel 3.1	Ketentuan Agregat Kasar	14
Tabel 3.2	Ketentuan Agregat Halus	15
Tabel 3.3	Persyaratan Gradasi Campuran <i>HRA</i> Tipe C	16
Tabel 3.4	Ketentuan untuk Aspal Keras	18
Tabel 4.1	Gradasi Agregat Campuran <i>Hot Rolled Asphalt</i>	41
Tabel 4.2	Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5,5%	42
Tabel 4.3	Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6%	42
Tabel 4.4	Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6,5%	43
Tabel 4.5	Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7%	43
Tabel 4.6	Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7,5%	43
Tabel 4.7	Jumlah Benda Uji untuk Mencari Nilai KAO	44
Tabel 4.8	Jumlah Benda Uji untuk Tiap Pengujian pada KAO	44
Tabel 5.1	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar	57
Tabel 5.2	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus	57
Tabel 5.3	Hasil Pengujian Karakteristik <i>Filler</i>	57
Tabel 5.4	Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Pertamina Pen 60/70	58
Tabel 5.5	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> untuk Mencari KAO	59
Tabel 5.6	Rekapitulasi Nilai Kadar Aspal Optimum	60
Tabel 5.7	Kebutuhan Agregat pada Campuran dengan Kadar Aspal Optimum (KAO) 6,475%	60
Tabel 5.8	Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> dengan Dua Metode Pencampuran	61
Tabel 5.9	Hasil Pengujian <i>Index of Retained Strength (IRS)</i> dengan Dua Metode Pencampuran	61
Tabel 5.10	Hasil Pengujian Indeks Durabilitas dengan Dua Metode Pencampuran	61

Tabel 5.11 Hasil Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> dengan Dua Metode Pencampuran	62
Tabel 5.12 Hasil Pengujian <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i> dengan Dua Metode Pencampuran	62
Tabel 5.13 Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss</i> dengan Dua Metode Pencampuran	62
Tabel 5.14 Hasil Pengujian <i>Asphalt Flow Down (AFD)</i> dengan Dua Metode Pencampuran	62
Tabel 5.15 Hasil Pengujian Statistik <i>T-Test</i> pada Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik <i>Marshall</i>	63
Tabel 5.16 Hasil Pengujian Statistik <i>T-Test</i> pada Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik <i>Index of Retained Strength (IRS)</i> , Indeks Durabilitas Pertama (IDP), Indeks Durabilitas Kedua (IDK), <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> , <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i> , <i>Cantabro Loss</i> , dan <i>Asphalt Flow Down (AFD)</i>	63
Tabel 5.17 Rekapitulasi Perbandingan Kinerja Perkerasan Campuran <i>HRA</i> Terhadap Dua Metode Pencampuran	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Grafik Batasan Gradasi <i>HRA</i> Tipe C	17
Gambar 3.2	Proses Metode Pencampuran Secara Konvensional dan Dua Tahap	19
Gambar 3.3	Ilustrasi <i>VMA</i> , <i>Voids</i> , dan Kadar Bitumen Efektif	27
Gambar 3.4	Ilustrasi Rongga Agregat yang Terisi Bitumen	28
Gambar 3.5	Mekanisme Terjadinya Gaya Tarik dan Kerusakan Rongga	32
Gambar 4.1	Bagan Alir Penelitian	54
Gambar 5.1	Grafik Kadar Aspal Optimum	59
Gambar 5.2	Grafik Hubungan Antara Nilai Stabilitas dan Kadar Aspal	69
Gambar 5.3	Grafik Hubungan Antara Nilai <i>Flow</i> dan Kadar Aspal	70
Gambar 5.4	Grafik Hubungan Antara Nilai <i>VITM</i> dan Kadar Aspal	71
Gambar 5.5	Grafik Hubungan Antara Nilai <i>VFWA</i> dan Kadar Aspal	72
Gambar 5.6	Grafik Hubungan Antara Nilai <i>VMA</i> dan Kadar Aspal	73
Gambar 5.7	Grafik Hubungan Antara Nilai <i>Density</i> dan Kadar Aspal	74
Gambar 5.8	Grafik Hubungan Antara Nilai <i>Marshall Quotient</i> dan Kadar Aspal	75
Gambar 5.9	Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai Stabilitas	76
Gambar 5.10	Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>Flow</i>	77
Gambar 5.11	Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>VITM</i>	79
Gambar 5.12	Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>VFWA</i>	80
Gambar 5.13	Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>VMA</i>	81

Gambar 5.14	Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>Density</i>	82
Gambar 5.15	Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>MQ</i>	83
Gambar 5.16	Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai Stabilitas <i>Marshall</i> Perendaman 0,5 jam dan 24 jam	85
Gambar 5.17	Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>Index of Retained Strength (IRS)</i>	86
Gambar 5.18	Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP)	88
Gambar 5.19	Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK)	89
Gambar 5.20	Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>ITS uncondition</i>	91
Gambar 5.21	Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>ITS condition</i>	91
Gambar 5.22	Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i>	93
Gambar 5.23	Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>Cantabro Loss</i>	94
Gambar 5.24	Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>Asphalt Flow Down (AFD)</i>	96

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70	107
Lampiran 2	Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70	108
Lampiran 3	Pemeriksaan Titik Nyala & Titik Bakar Aspal Pen 60/70	109
Lampiran 4	Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70	110
Lampiran 5	Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam <i>TCE</i>	111
Lampiran 6	Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70	112
Lampiran 7	Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	113
Lampiran 8	Pemeriksaan Kekekalan Agregat Terhadap Aspal	114
Lampiran 9	Pemeriksaan Kehausan Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i>	115
Lampiran 10	Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	116
Lampiran 11	Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	117
Lampiran 12	Pemeriksaan Berat Jenis <i>Filler</i>	118
Lampiran 13	Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> untuk Mencari KAO	119
Lampiran 14	Grafik Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> untuk Mencari KAO	120
Lampiran 15	Grafik Hasil Kadar Aspal Optimum (KAO)	121
Lampiran 16	Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> dengan Dua Metode Pencampuran	122
Lampiran 17	Hasil Pengujian <i>Immersion Test</i> dengan Dua Metode Pencampuran	123
Lampiran 18	Hasil Pengujian Indeks Durabilitas Pertama (IDP) dan Indeks Durabilitas Kedua (IDK) dengan Dua Metode Pencampuran	124
Lampiran 19	Hasil Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> dengan Dua Metode Pencampuran	125
Lampiran 20	Hasil Pengujian <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i> dengan Dua Metode Pencampuran	126
Lampiran 21	Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss</i> dengan Dua Metode Pencampuran	127

Lampiran 22	Hasil Pengujian <i>Asphalt Flow Down (AFD)</i> dengan Dua Metode Pencampuran	128
Lampiran 23	Analisis <i>T-Test</i> Perbandingan antara Dua Metode Pencampuran	129
Lampiran 24	Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Aspal	134
Lampiran 25	Gambar Alat Pemeriksaan Penetrasi Aspal	135
Lampiran 26	Gambar Alat Pemeriksaan Daktilitas Aspal	136
Lampiran 27	Gambar Alat Pemeriksaan Titik Lembek Aspal	137
Lampiran 28	Gambar Alat Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal	138
Lampiran 29	Gambar Alat Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam <i>TCE</i>	139
Lampiran 30	Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	140
Lampiran 31	Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	141
Lampiran 32	Gambar Alat Pemeriksaan Kelekatan Agregat terhadap Aspal	142
Lampiran 33	Gambar Alat Pemeriksaan Keausan Agregat	143
Lampiran 34	Gambar Alat Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	144
Lampiran 35	Gambar Alat Analisis Saringan	145
Lampiran 36	Gambar Pembuatan Sampel Campuran	146
Lampiran 37	Gambar Pengujian <i>Marshall Test</i> dan <i>Immersion Test</i>	151
Lampiran 38	Gambar Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> dan <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i>	153
Lampiran 39	Gambar Pengujian <i>Cantabro Loss</i>	154
Lampiran 40	Gambar Pengujian <i>Asphalt Flow Down (AFD)</i>	155

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

AASHTO	= <i>American Association of State Highway and Transport Officials</i>
AFD	= <i>Asphalt Flow Down</i>
ASTM	= <i>American Standart Testing and Material</i>
BS	= <i>British Standart</i>
HRA	= <i>Hot Rolled Asphalt</i>
IDK	= Indeks Durabilitas Kedua
IDP	= Indeks Durabilitas Kedua
IKS	= Indeks Kekuatan Sisa
IRS	= <i>Index of Retained Strength</i>
ITS	= <i>Index of Tensile Strength</i>
KAO	= Kadar Aspal Optimum
MQ	= <i>Marshall Quotient</i>
SMA	= <i>Stone Matrix Asphalt</i>
SNI	= Standar Nasional Indonesia
TCE	= <i>Trichloroethylene</i>
TSR	= <i>Tensile Strength Ratio</i>
VMA	= <i>Voids in the Mineral Aggregate</i>
VITM	= <i>Voids in the Mix</i>
VFWA	= <i>Voids Filled with Asphalt</i>
a	= kehilangan kekuatan rerata satu hari (%)
A	= berat piknometer dengan penutup (gr)
A	= persentase agregat kasar (%)
A _o	= konstanta
B	= berat piknometer berisi air (gr)
B	= persentase agregat halus (%)
B _a	= berat beton aspal padat di dalam air (gr)

B_k	= berat kering beton aspal padat (gr)
B_{ssd}	= berat kering permukaan beton aspal yang telah dipadatkan (gr)
c	= berat benda uji sebelum direndam (gr)
C	= berat piknometer berisi aspal (gr)
CA	= agregat kasar tertahan saringan No. 8
d	= berat benda uji dalam keadaan jenuh (gr)
d	= diameter sampel (cm)
D	= berat piknometer berisi aspal dan air (gr)
e	= berat benda uji di dalam air (gr)
f	= volume benda uji (cm^3)
$F1$	= berat jenis agregat kasar
$F2$	= berat jenis agregat halus
FA	= agregat halus lolos saringan No. 8 dan tertahan No. 200
<i>Filler</i>	= agregat halus lolos saringan No. 200
g	= nilai <i>density</i> (gr/cc)
G_a	= berat jenis aspal
G_b	= berat jenis aspal
G_{mb}	= berat jenis <i>bulk</i> dari beton aspal padat
G_{mm}	= berat jenis maksimum campuran aspal yang belum dipadatkan
G_{sb}	= berat jenis <i>bulk</i> dari agregat pembentuk beton aspal padat
G_{se}	= berat jenis <i>bulk</i> efektif agregat
h	= tinggi sampel (cm)
$H0$	= tidak ada perbedaan yang signifikan terhadap karakteristik campuran <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i> dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 akibat adanya perbedaan metode pencampuran
$H1$	= ada perbedaan signifikan terhadap karakteristik campuran <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i> dengan aspal bahan ikat aspal Pen 60/70 akibat adanya perbedaan metode pencampuran
ITS_o	= kuat tarik tidak langsung awal (kg/cm^2)
ITS_n	= kuat tarik tidak langsung dengan durasi perendaman (kg/cm^2)
K	= konstanta 0,5 - 1 untuk Lapis Aspal Beton (Laston)

L	= persentase kehilangan berat (%)
m_1	= berat cetakan berupa nampan (gr)
m_2	= berat cetakan beserta campuran beraspal (gr)
m_3	= berat cetakan beserta campuran aspal yang melekat pada alumunium foil (gr)
M_0	= berat sebelum diabrasi (gr)
M_1	= berat setelah diabrasi (gr)
MQ	= nilai <i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)
p	= pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat
P_a	= kadar aspal terhadap berat beton aspal padat (%)
P_b	= kadar aspal perkiraan
P_s	= kadar agregat terhadap berat beton aspal padat (%)
P_{mm}	= persen berat dari campuran total yang tidak dipadatkan = 100%
P_{maks}	= beban puncak (kg)
q	= angka koreksi benda uji
q	= nilai stabilitas (kg)
r	= nilai kelelehan <i>flow</i> (mm)
S	= nilai stabilitas
S_i	= persentase kekuatan sisa pada waktu t_i (%)
S_{i+1}	= persentase kekuatan sisa pada waktu t_{i+1} (%)
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
t_i, t_{i+1}	= periode perendaman (jam)
t_n	= total waktu perendaman (jam)

ABSTRAK

Lapisan jalan yang umum digunakan di Indonesia yaitu Lapis Aspal Beton (Laston) dan Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston). Hal ini disebabkan aspal beton mempunyai beberapa kelebihan, salah satunya harga yang lebih terjangkau dibanding beton, akan tetapi penggunaan aspal memiliki ketahanan yang cukup kurang terhadap pengaruh air dan cuaca di Indonesia. *Hot Rolled Asphalt (HRA)* adalah salah satu jenis campuran aspal panas yang mempunyai sifat elastis yang tinggi dan mengandung agregat tumpang (*gap grade*) dimana ada satu bagian fraksi yang tidak terdapat dalam campurannya. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengurangi kerusakan perkerasan dan meningkatkan mutu campuran beraspal terhadap pengaruh air dengan adanya perbandingan dua metode pencampuran yaitu metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* dengan bahan ikat aspal Pen 60/70.

Pada penelitian ini dilakukan empat tahapan pengujian. Tahap pertama dilakukan pengujian sifat fisik material yang digunakan yaitu berupa agregat dan aspal. Lalu, tahap kedua dilakukan pengujian untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO) yang digunakan pada campuran. Setelah didapatkan kadar aspal optimum (KAO), selanjutnya tahap ketiga dilakukan pengujian yang terdiri dari *Marshall Test*, *Index of Retained strength (IRS)*, Indeks Durabilitas Pertama (IDP), Indeks Durabilitas Kedua (IDK), *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down (AFD)* dengan menggunakan metode pencampuran konvensional dan dua tahap. Pada tahap terakhir dilakukan analisis hasil pengujian, pembahasan terhadap hasil analisis, dan mengambil kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan metode pencampuran dua tahap pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* memiliki pengaruh yang signifikan yang dapat meningkatkan kinerja dan ketahanan (*durability*) campuran dengan adanya pengaruh air. Pengaruh pelapisan awal aspal pada agregat kasar membuat pori campuran terisi dengan optimal, sehingga campuran dengan metode pencampuran dua tahap memiliki pori yang rapat dan kedap terhadap air. Hal ini dapat dilihat pada hasil pengujian *Marshall* yang menghasilkan nilai angka pori campuran yang rendah, karena banyaknya aspal yang mengisi rongga campuran, sehingga campuran memiliki nilai stabilitas yang baik. Selain itu, peningkatan ketahanan (*durability*) campuran dengan metode pencampuran dua tahap terhadap pengaruh air ditunjukkan pada hasil pengujian *IRS*, IDP, IDK, dan *TSR* dengan hasil yang lebih tinggi nilai ketahanannya. Begitupun nilai *ITS* dan *Cantabro Loss* pada campuran dengan metode pencampuran dua tahap memiliki kekuatan yang lebih baik dalam menerima beban. Pada pengujian *AFD* tidak ada pengaruh yang signifikan, karena penggunaan bahan ikat aspal yang sama.

Kata kunci: Metode Pencampuran Dua Tahap, *Hot Rolled Asphalt (HRA)*, Kinerja Campuran Aspal, Durabilitas Aspal.

ABSTRACT

The road layers that are commonly used in Indonesia are Asphalt Concrete Layer (Laston) and Asphalt Concrete Thin Layer (Lataston). Using asphalt concrete has several advantages, which is that the price is more affordable, but using asphalt has less resistance to the effects of water and weather in Indonesia. Hot Rolled Asphalt (HRA) is one of an asphalt mixture design that has high elasticity and contains gap-grade aggregates. Therefore, the purpose of this research is to reduce pavement damage and improve the quality of asphalt mixtures by using a comparison of two mixing methods, such as conventional mixing method and two-phase mixing method on Hot Rolled Asphalt (HRA) mixture with asphalt Pen 60/70.

This research has four steps of testing to do. First step is testing the physical properties of the material used, such as aggregate and asphalt. Then, the second step is testing to determine the optimum asphalt used in the mixture design. After obtaining the optimum asphalt used, next step is testing the mixtures with Marshall Test, Index of Retained strength (IRS), First Durability Index (FDI), Second Durability Index (SDI), Indirect Tensile Strength (ITS), Tensile Strength Ratio (TSR), Cantabro Loss, and Asphalt Flow Down (AFD) using conventional and two-phase mixing methods. In the final step, analyze the test results, make a point of the results of the analysis, and draw conclusions from the results of the research conducted.

The results showed that the use of the two-phase mixing method on the Hot Rolled Asphalt (HRA) mixture had a significant effect which could increase the performance and durability of the mixture in the presence of water damage. The effect of the initial asphalt coating on the coarse aggregates makes the pores of the mixture filled optimally, so the mixture with two-phase mixing method has tight pores and impermeable to water. It showed in the results of the Marshall Test which produced a little void ratio of the mixture, due to the large amount of asphalt that filled the pores of the mixture, so the mixture had a Stability value. In addition, an increase in the durability of the mixture with two-phase mixing method against the effects of water was shown in the results of the IRS, FDI, SDI, and TSR test with higher resistance values. Likewise, the value of ITS and Cantabro Loss in the mixture with two-phase method has better strength in accepting the loads. In the AFD test there is no significant effect, because all the methods used the same asphalt binder.

Keywords: *Two-Phase Mixing Methods, Hot Rolled Asphalt (HRA), Performance of Asphalt Mixture, Asphalt Durability*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya pembangunan ekonomi di Indonesia maka semakin meningkat kebutuhan mobilitas masyarakat dalam kehidupan sehari-hari. Akibatnya diperlukan prasarana jalan yang memadai. Dengan bertambahnya kebutuhan tersebut maka volume lalu lintas akan semakin meningkat yang mana akan berpengaruh terhadap beban yang diterima oleh struktur perkerasan jalan. Selain faktor tersebut ada juga faktor iklim, topografi, dan lain-lain. Oleh karena itu diperlukan peningkatan kualitas lapis perkerasan jalan.

Pada umumnya, lapisan jalan yang digunakan di Indonesia yaitu Lapis Aspal Beton (Laston) dan Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston). Hal ini disebabkan aspal beton mempunyai beberapa kelebihan, salah satunya harga yang lebih terjangkau dibanding beton. *Hot Rolled Asphalt (HRA)* adalah salah satu jenis campuran aspal panas yang mempunyai sifat elastis yang tinggi dan mengandung agregat timpang (*gap grade*) dimana ada satu bagian fraksi yang tidak terdapat dalam campurannya dengan proporsi agregat halus antara 50% sampai dengan 80% dari total campuran, sedangkan agregat kasar lebih kurang dari 30% sampai dengan 40%. Gradasi agregat yang digunakan pada campuran *HRA* mengacu pada persyaratan *British Standard (BS) 594 - 1992*.

Aspal merupakan senyawa *hydrocarbon* dengan unsur utama bitumen yang diperoleh dari residu hasil pengilangan minyak bumi berbentuk padat atau setengah padat berwarna hitam sampai cokelat gelap, dan mempunyai sifat perekat (*cementitious*) yang akan melembek dan meleleh bila dipanasi. Fungsi aspal dalam campuran agregat aspal adalah sebagai bahan pengikat yang bersifat *viscoelastis* dengan tingkat viskositas yang tinggi. Pada umumnya jenis aspal dibedakan dengan angka penetrasi aspal yang menyatakan tingkat kekerasan aspal atau konsistensi aspal. Aspal dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas atau lalu

lintas dengan volume tinggi, sedangkan aspal dengan penetrasi tinggi digunakan untuk daerah yang bercuaca dingin ataupun lalu lintas dengan volume rendah. Di Indonesia pada umumnya digunakan aspal dengan penetrasi 60/70 dan 80/100.

Beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambah. Cara pencampuran beton aspal mempunyai teknik pencampuran yang bervariasi, yaitu metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap. Hal ini berpengaruh terhadap kelekatan aspal dengan agregat. Selain itu, tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh lapis perkerasan lentur adalah stabilitas (*stability*), keawetan (*durability*), kelenturan (*flexibility*), ketahanan leleh (*fatigue resistance*), ketahanan geser (*skid resistance*), kedap air (*impermeability*), dan kemudahan dalam pelaksanaan (*workability*) (Sukirman, 2003). Maka dari itu perlu ditentukan metode pencampuran antara agregat dan aspal yang optimal sehingga dihasilkan kualitas beton aspal yang sesuai dengan persyaratan.

Hidayat (2021) pada penelitiannya menggunakan metode konvensional yaitu pencampuran agregat dan aspal langsung menjadi satu dan metode pencampuran dua tahap yaitu pencampuran agregat kasar ditambah aspal terlebih dahulu, lalu dimasukkan agregat halus di akhir pencampuran. Serta dilakukan perbandingan dengan menggunakan dua aspal yang berbeda yaitu aspal pen 60/70 dan aspal dengan bahan tambah serbuk karet (*crumb rubber*). Dalam penelitiannya menghasilkan campuran SMA 12,5 mm dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 dan aspal *Crumb Rubber* lebih baik menggunakan metode pencampuran dua tahap, karena metode pencampuran dua tahap mampu meningkatkan nilai stabilitas, durabilitas, ketahanan geser, mengurangi terjadinya pelepasan butir pada campuran beraspal, dan lebih kedap air. Akan tetapi penggunaan aspal Pen 60/70 dengan pencampuran dua tahap memiliki karakteristik campuran yang lebih kaku dan fleksibilitas rendah yang menyebabkan adanya potensi terjadinya *cracking*.

Berdasarkan uraian informasi di atas, maka peneliti ingin mencoba melakukan perbandingan pengaruh metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap pada perkerasan *Hot Rolled Asphalt (HRA)* dengan bahan ikat aspal pen 60/70 berdasarkan persyaratan gradasi menggunakan *British*

Standard (BS) 594 – 1992 yang bertujuan untuk mencari metode pencampuran yang optimal terhadap karakteristik beton aspal yang baik dan sesuai dengan persyaratan Bina Marga 2018.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana perbandingan metode pencampuran terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)*?
2. Bagaimana perbandingan metode pencampuran terhadap nilai *Index of Retained Strength (IRS)* pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)*?
3. Bagaimana perbandingan metode pencampuran terhadap nilai Indeks Durabilitas (*durability*) pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)*?
4. Bagaimana perbandingan metode pencampuran terhadap karakteristik *Indirect Tensile Strength (ITS)* pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)*?
5. Bagaimana perbandingan metode pencampuran terhadap nilai *Tensile Strength Ratio (TSR)* pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)*?
6. Bagaimana perbandingan metode pencampuran terhadap karakteristik *Cantabro Loss* pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)*?
7. Bagaimana perbandingan metode pencampuran terhadap karakteristik *Asphalt Flow Down (AFD)* pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan masalah yang telah dirumuskan, tujuan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui perbandingan metode pencampuran terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)*.
2. Mengetahui perbandingan metode pencampuran terhadap nilai kekuatan yang dimiliki campuran setelah mengalami proses perendaman (*Index of Retained Strength*) pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)*.

3. Mengetahui perbandingan metode pencampuran terhadap nilai Indeks Durabilitas (*durability*) yang dimiliki campuran setelah mengalami proses perendaman pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)*.
4. Mengetahui perbandingan metode pencampuran terhadap nilai tarik tak langsung (*Indirect Tensile Strength*) pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)*.
5. Mengetahui perbandingan metode pencampuran terhadap nilai *Tensile Strength Ratio (TSR)* pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)*.
6. Mengetahui perbandingan metode pencampuran terhadap nilai *Cantabro Loss* dengan pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)*.
7. Mengetahui perbandingan metode pencampuran terhadap nilai *Asphalt Flow Down (AFD)* dengan pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya pengaruh metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap menggunakan campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* sehingga diharapkan dapat menjadi pertimbangan dalam menentukan metode pencampuran yang baik dan memenuhi persyaratan Bina Marga 2018.

1.5 Batas Penelitian

Agar penelitian tugas akhir ini berjalan sistematis, maka perlu diberikan batasan-batasan sebagai berikut.

1. Agregat kasar dan halus berasal dari Clereng, Kab. Kulonprogo, D.I. Yogyakarta.
2. Bahan ikat yang digunakan yaitu aspal penetrasi 60/70.
3. Pengujian Agregat berdasarkan persyaratan Bina Marga 2018.
4. Pengujian Aspal berdasarkan persyaratan Bina Marga 2018 yaitu pengujian titik lembek aspal, penetrasi aspal, titik nyala dan titik bakar, berat jenis aspal, kelarutan dalam *TCE (Trichloroethylene)*, dan daktilitas aspal

5. Pencampuran yang dilakukan adalah pencampuran secara konvensional dan dua tahap. Dimana pencampuran konvensional merupakan pencampuran agregat kasar dan halus terlebih dahulu, lalu dilanjutkan dengan pencampuran dengan aspal. Sedangkan pencampuran dua tahap didahului pencampuran agregat kasar dan aspal terlebih dahulu, lalu dimasukkan agregat halus.
6. Gradasi yang dipakai yaitu agregat timpang (*gap grade*) dengan selimut aspal yang tebal berdasarkan persyaratan *British Standard (BS) 594 – 1992*.
7. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian *Marshall*, *Index of Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down (AFD)* berdasarkan parameter Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) pada bagian Lataston Lapis Pondasi.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Umum

Perkerasan jalan di Indonesia umumnya menggunakan Lapis Aspal Beton (Laston) dan Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston). Hal ini disebabkan aspal beton mempunyai beberapa kelebihan dan efektif terhadap kondisi di Indonesia, salah satu kelebihannya adalah harga yang lebih terjangkau dibanding perkerasan beton.

Aspal beton adalah jenis perkerasan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambah. Cara pencampuran aspal beton mempunyai teknik pencampuran yang bervariasi, serta aspal beton dituntut untuk memiliki tujuh karakteristik campuran yaitu stabilitas, keawetan, kelenturan (*flexibility*), ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kekesatan permukaan atau ketahanan geser, kedap air, dan kemudahan pelaksanaan (*workability*). Maka dari itu perlu ditentukan campuran antara agregat dan aspal yang optimal sehingga dihasilkan kualitas beton aspal yang sesuai dengan persyaratan.

2.2 Kinerja Perkerasan Aspal dengan Campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)*

Pada penelitian ini dibutuhkan tinjauan pustaka yang bertujuan untuk memetakan masalah yang ada dan untuk mengerucutkan permasalahan mengenai kinerja perkerasan *Hot Rolled Asphalt (HRA)*. Tinjauan pustaka ini diambil dari hasil-hasil penelitian sebelumnya yang mana berkaitan dengan penelitian ini. Adapun hasil tinjauan pustaka beberapa penelitian yang berkaitan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut.

Pratama (2017) pada penelitian ini membandingkan kinerja campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 dan aspal Retona *Blend 55*. Hasil pengujian *Marshall* campuran *HRA* dengan bahan ikat aspal Retona memiliki persentase penurunan lebih kecil dibanding penurunan campuran dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 setelah adanya perendaman air laut selama 192 jam.

Pada campuran *HRA* dengan bahan ikat aspal Retona memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap perendaman air laut dan lebih kedap air dibandingkan dengan campuran dengan bahan ikat aspal Pen 60/70. Dikarenakan sifat campuran *HRA* dengan bahan ikat aspal Retona memiliki nilai *ITS* yang tinggi, maka campuran tersebut lebih kedap air dan memiliki kinerja yang baik walaupun dalam kondisi sudah terendam air laut.

Auliani (2018) pada penelitiannya penambahan serat *Polypropylene (PP)* dengan kadar pencampuran dari 0% - 1,6% dengan interval 0,4% terhadap berat total campuran perkerasan *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)* menghasilkan peningkatan pada nilai stabilitas, *flow*, *MQ*, *VFWA* seiring penambahan kadar serat *PP* hingga mencapai 0,4%, kemudian menurun ketika kadar serat *PP* berlebih. Sedangkan untuk nilai *VITM* dan *VMA* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar serat *PP*. Pada pengujian *ITS* mengalami peningkatan yang cukup signifikan seiring bertambahnya kadar serat *PP*, berbanding terbalik dengan pengujian *Cantabro Loss* yang mengalami penurunan.

Nugroho (2018) pada penelitian ini campuran agregat mengalami substitusi di bagian *filler* yaitu menggunakan ampas tebu. Dengan penggantian *filler* ini menghasilkan perubahan karakteristik *Marshall* yaitu pada kemampuan campuran menahan beban menurun dan kelelahan meningkat. Pada nilai stabilitas, *MQ*, *VITM*, *VMA*, dan *Density* mengalami penurunan dan untuk nilai *flow* dan *VFWA* mengalami peningkatan. Untuk durabilitas campuran *HRA* berbahan ikat aspal Pen 60/70 dan aspal Starbit E-55 mempunyai durabilitas yang rendah berdasarkan nilai *Index of Retained Strength* yang rendah. Kemampuan menahan gaya Tarik campuran *HRA* keduanya mengalami penurunan yang menunjukkan bahwa campuran mudah mengalami retak karena tidak kuat menahan kuat tarik.

2.3 Kinerja Perkerasan Aspal dengan Berbagai Metode

Pada penelitian ini dibutuhkan juga tinjauan pustaka yang bertujuan untuk memetakan masalah yang ada dan untuk mengerucutkan permasalahan mengenai perbandingan metode pencampuran secara konvensional dan dua tahap pada

perkerasan *Hot Rolled Asphalt (HRA)*. Tinjauan pustaka ini diambil dari hasil-hasil penelitian sebelumnya yang mana berkaitan dengan penelitian ini. Adapun hasil tinjauan pustaka beberapa penelitian yang berkaitan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut.

Kok dan Kologlu (2011) menggunakan metode pencampuran secara dua tahap untuk mengetahui sifat mekanik pada campuran yang menggunakan tiga jenis bahan pengikat berupa semen yaitu AC-5, AC-10, dan AC-20 yang dimodifikasi dengan (*SBS Kraton D 1101*). Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut adalah metode pencampuran secara dua tahap dapat meningkatkan nilai *Marshall Quotient*, kekakuan (*stiffness*), umur kelelahan, dan mengurangi kerusakan campuran aspal yang disebabkan oleh kelembaban. Pengaruh metode pencampuran secara dua tahap dapat meningkatkan kinerja campuran perkerasan aspal yang dimodifikasi dibandingkan dengan campuran perkerasan aspal yang tidak dimodifikasi.

Wahyudi (2019) pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya pengaruh metode pencampuran pada campuran porus dan *superpave*. Penelitian ini menghasilkan beberapa hasil pengujian yaitu, dengan pengujian *Marshall* pada campuran perkerasan porus dihasilkan nilai *VITM* dan *VFWA* tertinggi pada metode 2 dibanding dengan metode konvensional, untuk nilai *VMA* pada metode 2 dan 3 memiliki nilai yang lebih kecil walaupun tidak signifikan. Nilai flow masing-masing metode memiliki nilai yang relatif sama, sedangkan nilai stabilitas pada metode 3 memiliki nilai stabilitas tertinggi yang berarti campuran menggunakan metode 3 lebih baik menahan beban. Nilai *ITS* tertinggi menggunakan metode 2 yang berarti campuran kuat terhadap daya tahan tarik. Nilai *Cantabro Loss* dan *IRS* tertinggi menggunakan metode 3 yang berarti campuran tersebut memiliki daya tahan lebih rendah terhadap keausan dan penurunan nilai stabilitas yang lebih rendah setelah dilakukan perendaman. Sedangkan nilai *TSR* metode 1 menunjukkan nilai tertinggi untuk menahan penurunan daya tahan tarik setelah perendaman secara signifikan. Untuk campuran *superpave* yang dilakukan dengan berbagai metode menghasilkan campuran dengan metode 3 memiliki nilai terbaik dan tertinggi pada beberapa pengujian dan karakteristik *Marshall*.

Kiselev dkk (2020) menggunakan metode pencampuran dua tahap pada penelitian mereka untuk mengetahui sifat fungsional dan mekanik pada campuran porous aspal dengan modifikasi bahan ikat berupa tambahan *styrene-butadiene-styrene (SBS)* dan *tafpack super (TPS)*. Penelitian tersebut menghasilkan nilai sifat mekanik aspal berpori, kinerja pemecahan, kelelahan, dan *rutting* yang lebih baik dengan penggunaan metode pencampuran dua tahap, hal ini dipengaruhi oleh agregat kasar yang terlapis oleh aspal lebih awal sehingga pengikatan antar agregat lebih optimal.

Hidayat (2021) pada penelitian ini menggunakan metode pencampuran dua tahap yaitu pencampuran agregat kasar ditambah aspal terlebih dahulu, lalu dimasukkan agregat halus di akhir pencampuran. Serta dilakukan perbandingan dengan menggunakan dua aspal yang berbeda yaitu aspal pen 60/70 dan aspal dengan bahan tambah serbuk karet (*crumb rubber*), selain itu dilakukan perbandingan terhadap metode pencampuran konvensional dan dua tahap. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan yaitu campuran SMA 12,5 mm dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 dan aspal *Crumb Rubber* lebih baik menggunakan metode pencampuran dua tahap, karena metode pencampuran dua tahap mampu meningkatkan nilai stabilitas, durabilitas, ketahanan geser, mengurangi terjadinya pelepasan butir pada campuran beraspal, dan lebih kedap air. Akan tetapi penggunaan aspal Pen 60/70 dengan pencampuran dua tahap memiliki karakteristik campuran yang lebih kaku dan fleksibilitas rendah yang menyebabkan adanya potensi terjadinya *cracking*.

2.4 Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan tinjauan penelitian terdahulu mempunyai beberapa perbedaan dengan penelitian penulis. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Perbandingan Peneliti Sekarang dengan Peneliti Terdahulu

Peneliti	Kok dan Kologlu (2011)	Pratama (2017)	Auliani (2018)	Nugroho (2018)	Wahyudi (2019)	Kiselev dkk (2020)	Hidayat (2021)	Peneliti (2023)
Judul Penelitian	<i>Effect of Two-Phase Mixing Method on Mechanical Properties of Hot Mix Asphalt</i>	Perbandingan Kinerja Campuran <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i> dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Aspal Retona Blend 55 dengan Variasi Durasi Rendaman Air Laut	Pengaruh Penambahan Serat <i>Polypropylene (PP)</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i> Terhadap Karakteristik <i>Marshall</i> , <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> , dan Ketahanan Aus	Perbandingan Karakteristik Campuran <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i> Berbahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E-55 dengan Substitusi <i>Filler</i> Abu Ampas Tebu	Pengaruh Berbagai Metode Pencampuran Terhadap Karakteristik Campuran <i>Superpave</i> dan Aspal <i>Porus</i>	<i>The Effect of Two-Phase Mixing on The Functional and Mechanical Properties of Hot Mix Asphalt</i>	Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i> Dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Aspal <i>Crumb Rubber</i>	Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Kinerja <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>
Jenis Campuran	<i>Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)</i>	<i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>	<i>Hot Rolled Sheet (HRS-WC)</i>	<i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>	<i>Superpave</i> dan <i>Porus</i>	<i>Asphalt Porous</i> 13 mm	<i>Stone Matrix Asphalt (SMA)</i>	<i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>
Bahan Ikat	AC-5, AC-10, dan AC-20	Pertamina Pen 60/70 dan Retona	Pertamina Pen 60/70 dan Retona	Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E-55	Pertamina Pen 60/70	<i>SBS-modified</i>	Pertamina Pen 60/70	Pertamina Pen 60/70
Bahan Tambah	<i>Styrene-Butadiene-Styrene (SBS)</i>	-	Serat <i>Polypropylene (PP)</i>	<i>Filler</i> Abu Ampas Tebu	-	<i>SBS</i> dan <i>TPS</i>	<i>Crumb Rubber</i>	-

Sumber: Kok dan Kologlu (2011), Pratama (2017), Auliani (2018), Nugroho (2018), Wahyudi (2019), Kiselev dkk (2020), Hidayat (2021)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Peneliti Sekarang dengan Peneliti Terdahulu

Peneliti	Kok dan Kologlu (2011)	Pratama (2017)	Auliani (2018)	Nugroho (2018)	Wahyudi (2019)	Kiselev dkk (2020)	Hidayat (2021)	Peneliti (2023)
Metode Pencampuran	Konvensional dan Dua Tahap	Konvensional	Konvensional	Konvensional	Konvensional dan Dua Tahap	Konvensional dan Dua Tahap	Konvensional dan Dua Tahap	Konvensional dan Dua Tahap
Metode Pengujian	<i>Marshall, IRS, ITS, Rutting Test</i>	Karakteristik <i>Marshall, IRS, dan ITS</i>	Karakteristik <i>Marshall, ITS, dan Ketahanan Aus</i>	Karakteristik <i>Marshall, Immersion Test, dan ITS</i>	Karakteristik <i>Marshall, ITS, IRS, TSR, dan Cantabro Loss</i>	<i>Material Test, Rutting Test, Split Test, Fatigue Test.</i>	Karakteristik <i>Marshall, ITS, IRS, TSR, dan Cantabro Loss</i>	Karakteristik <i>Marshall, IRS, ITS, TSR, Cantabro Loss, dan AFD</i>
Hasil Pengujian	Campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap memiliki nilai <i>MQ</i> , kekakuan, dan keawetan yang lebih baik dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional	Campuran dengan bahan ikat aspal Retona memiliki kinerja yang lebih baik dalam kondisi sudah terendam air laut dibandingkan dengan campuran aspal Pen 60/70.	Pada campuran dengan tambahan serat <i>PP</i> memiliki keunggulan pada nilai stabilitas, <i>flow, MQ, VIFW</i> , dan <i>ITS</i> yang tinggi. Pada nilai <i>VITM, VMA</i> , dan <i>Cantabro Loss</i> mengalami penurunan	Campuran yang disubstitusi <i>filler</i> berupa ampas tebu dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 dan Starbit E-55 mengalami penurunan kualitas dari segi ketahanan dan kelelahan dalam menahan beban.	Pada metode dua tahap yang dimodifikasi menjadi 2 metode dengan perbedaan pada komposisi agregat ketika pencampuran, sehingga menghasilkan metode dua tahap versi 3 memiliki nilai terbaik dan tertinggi	Pada campuran porus yang menggunakan metode pencampuran dua tahap menghasilkan campuran yang memiliki nilai kekakuan, pemisah, dan retak yang lebih baik dibandingkan metode pencampuran konvensional	Metode pencampuran dua tahap pada penelitian ini mampu meningkatkan nilai stabilitas, durabilitas, ketahanan geser, dan lebih kedap air. Bahan ikat aspal Pen 60/70 memiliki sifat lebih kaku dibanding aspal <i>crumb rubber</i>	Penggunaan metode pencampuran dua tahap dapat meningkatkan kinerja perkerasan yang lebih lentur dengan memiliki nilai <i>MQ</i> yang lebih kecil. Pada nilai <i>IRS, ITS, TSR, Cantabro Loss</i> , dan <i>AFD</i> memiliki nilai yang lebih tinggi.

Sumber: Kok dan Kologlu (2011), Pratama (2017), Auliani (2018), Nugroho (2018), Wahyudi (2019), Kiselev dkk (2020), Hidayat (2021)

Pada Tabel 2.1 dapat dilihat beberapa kesamaan dan perbedaan antara peneliti sebelumnya dengan peneliti saat ini seperti berikut.

1. Penelitian yang dilakukan Kok dan Kologlu (2011), Wahyudi (2019), Kiselev dkk (2020), dan Hidayat (2021) menggunakan metode pencampuran yang sama yaitu metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap.
2. Penggunaan campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* dengan gradasi senjang pada penelitian Pratama (2017), Auliani (2018), dan Nugroho (2018) dengan perbedaan penggunaan bahan ikat dalam penelitian. Peneliti sebelumnya menggunakan dua jenis bahan ikat dan bahan tambah sebagai perbandingan, sedangkan peneliti menggunakan satu jenis bahan ikat.
3. Penelitian ini menggunakan parameter pengujian berupa *Marshall Test*, *Index of Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss*, *Asphalt Flow Down (AFD)*, dan menunjukkan nilai keawetan berupa Indeks Durabilitas terhadap pengaruh perendaman. Sedangkan penelitian terdahulu hanya menggunakan parameter pengujian berupa *Marshall Test*, *Index of Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, dan *Cantabro Loss*.

Berdasarkan alasan di atas, maka peneliti akan melakukan penelitian terhadap perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)*, sehingga peneliti dapat memberikan pengetahuan mengenai penelitian dan mampu mempertanggungjawabkan keasliannya.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Campuran *Hot Rolled Asphalt* (HRA)

Hot Rolled Asphalt (HRA) adalah salah satu jenis campuran aspal panas yang mempunyai sifat elastis yang tinggi dan mengandung agregat timpang (*gap grade*) dimana ada satu bagian fraksi yang tidak terdapat dalam campuran, proporsi agregatnya yaitu agregat halus antara 50% sampai dengan 80% dari total campuran dan agregat kasar antara 30% sampai dengan 40%. Pada gradasi agregat yang digunakan mengacu pada persyaratan dari *British Standard* (BS) 594 – 1992.

3.2 Karakteristik Material Penyusun *Hot Rolled Asphalt* (HRA)

Pada campuran aspal beton terdapat elemen penyusunnya sehingga menjadi sebuah satu kesatuan. Elemen tersebut terdiri dari agregat dan aspal. Pada penerapannya, aspal dan agregat bisa berbeda-beda tergantung dari metode dan kepentingan yang dituju.

3.2.1 Agregat

Agregat atau bisa disebut komposit merupakan sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya baik berupa hasil alam maupun buatan (SNI No: 1737-1989-F).

Agregat biasanya berupa material granular seperti kerikil, pasir, kerak tungku, dan batu pecah dan pemakaiannya dicampur bersamaan dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu adukan. Agregat merupakan komponen utama untuk penggunaan campuran aspal panas (*hotmix*) yaitu $\pm 95\%$ dari total berat campuran. Maka dari itu kualitas perkerasan jalan sangat bergantung dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dalam material lain. Menurut Bina Marga 2018 secara umum agregat dibedakan menjadi 3, yaitu:

1. Agregat Kasar

Menurut Bina Marga, (2018) agregat kasar adalah material batuan yang tertahan oleh saringan No.8 (2.36mm) pada saat penyaringan. Agregat kasar mempunyai fungsi menstabilkan permukaan perkerasan sehingga mempunyai sifat *skid resistance* (tahan terhadap selip) yang tinggi sehingga menjamin keselamatan saat berkendara. Berikut adalah ketentuan yang sudah ditetapkan untuk persyaratan agregat kasar menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian			Standar	Nilai (%)
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium sulfat		SNI 3407:2008	Maks.12
	Magnesium sulfat			Maks.18
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	Campuran AC Modifikasi	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks.6
		500 putaran		Maks.30
	Semua jenis campuran aspal 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 7619:2012	100/90 *)	
	Lainnya		95/90 **)	
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA	ASTM D4791-10	Maks.5	
	Lainnya	Perbandingan 1:5	Maks.10	
Material lolos Ayakan No.200			SNI ASTM C117: 2012	Maks.1

Sumber: Bina Marga (2018)

2. Agregat Halus

Menurut Bina Marga, (2018) agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No.8 (2.36mm) dan tertahan pada saringan No.200 (0.075mm). Agregat halus berfungsi untuk menyediakan stabilitas dan mengurangi deformasi permanen yang mana agregat halus tersebut saling

mengunci (*interlocking*) dan gesekan antar butiran. Berikut persyaratan agregat halus yang sudah ditetapkan dalam Spesifikasi Bina Marga 2018 dalam Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai (%)
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4438-1997	Min.50
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks.1
Agregat Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117:2012	Maks.10

Sumber: Bina Marga (2018)

3. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi atau *filler* adalah suatu mineral agregat berbutir halus yang lolos saringan No. 200 dan tidak kurang dari 75% terhadap beratnya. *Filler* mempunyai fungsi sebagai pengisi rongga dalam campuran sehingga memberikan kontribusi untuk meningkatkan kepadatan.

Pemberian *filler* pada campuran perkerasan jalan mengakibatkan lapis perkerasan mengalami perkurangan kadar pori. Rongga di antara partikel-partikel besar akan terisi oleh *filler*, sehingga ruang antar partikel-partikel besar menjadi berkurang. Secara umum penggunaan *filler* ini dimaksudkan untuk menambah stabilitas serta kerapatan dari campuran aspal.

Adapun ketentuan *filler* pada campuran aspal menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 sebagai berikut.

- a. Bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*) dapat berupa debu batu kapur (*limestone dust*), atau debu kapur padam atau debu kapur magnesium atau dolomit yang sesuai dengan AASHTO M303-89 (2014), atau semen atau abu terbang tipe C dan F. Bahan pengisi jenis semen hanya diizinkan untuk campuran beraspal panas dengan bahan pengikat jenis aspal keras Pen. 60/70.
- b. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI ASTM C136:

2012 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No.200 (75 micron) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya.

- c. Bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*), untuk semen harus dalam rentang 1% sampai dengan 2% terhadap berat total agregat dan untuk bahan pengisi lainnya harus dalam rentang 1% sampai dengan 3% terhadap berat total agregat. Khusus untuk SMA tidak dibatasi kadarnya tetapi tidak boleh menggunakan semen.

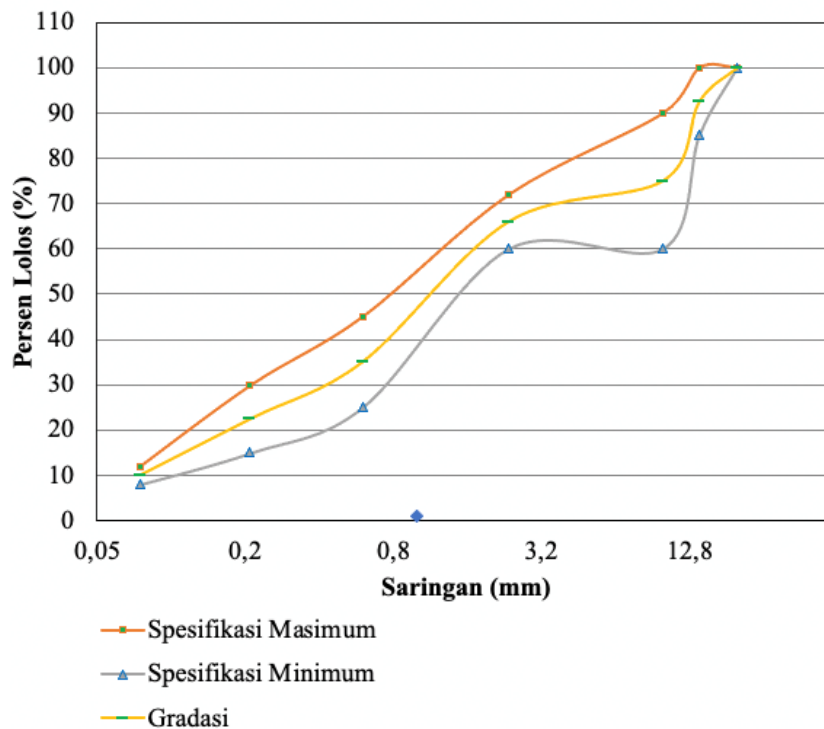
3.2.2 Gradasi Agregat *Hot Rolled Asphalt (HRA)*

Gradasi agregat adalah distribusi dari ukuran butiran agregat, atau pengelompokkan agregat dengan ukuran yang berbeda sebagai persentase dari total agregat atau persentase kumulatif butiran yang lebih kecil atau lebih besar dari masing-masing seri bukaan saringan. Pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* menggunakan persyaratan gradasi agregat berdasarkan peraturan *British Standard (BS)*. Berikut batasan gradasi agregat dalam campuran *HRA* dalam Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Persyaratan Gradasi Campuran *HRA* Tipe C

Ukuran Saringan	Persentase Lolos Saringan (%)		
	Min	Max	Nilai Tengah
20 mm (3/4")	100	100	100,0
14 mm (1/2")	85	100	92,5
10 mm (3/8")	60	90	75,0
2,36 mm (No. 8)	60	72	66,0
0,6 mm (No. 30)	25	45	35,0
0,212 mm (No. 70)	15	30	22,5
0,075 mm (No. 200)	8	12	10

Sumber: *British Standard, BS 594 (1992)*



Gambar 3.1 Grafik Batasan Gradasi HRA Tipe C

3.2.3 Aspal

Aspal merupakan senyawa *hydrocarbon* dengan unsur utama bitumen yang diperoleh dari residu hasil pengilangan minyak bumi berbentuk padat atau setengah padat berwarna hitam sampai coklat gelap, dan mempunyai sifat perekat (*cementitious*) yang akan melembek dan meleleh bila dipanasi. Fungsi aspal dalam campuran agregat aspal adalah sebagai bahan pengikat yang bersifat *viscoelastis* dengan tingkat viskositas yang tinggi. Pada umumnya jenis aspal dibedakan dengan angka penetrasi aspal yang menyatakan tingkat kekerasan aspal atau konsistensi aspal. Aspal dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas atau lalu lintas dengan volume tinggi, sedangkan aspal dengan penetrasi tinggi digunakan untuk daerah yang bercuaca dingin ataupun lalu lintas dengan volume rendah. Di Indonesia pada umumnya digunakan aspal dengan penetrasi 60/70 dan 80/100.

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal pertamina penetrasi 60/70. Aspal pertamina pen 60/70 merupakan aspal hasil residu minyak bumi yang berbentuk padat atau biasa disebut aspal keras. Adapun persyaratan Aspal Pen 60/70 pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Ketentuan untuk Aspal Keras

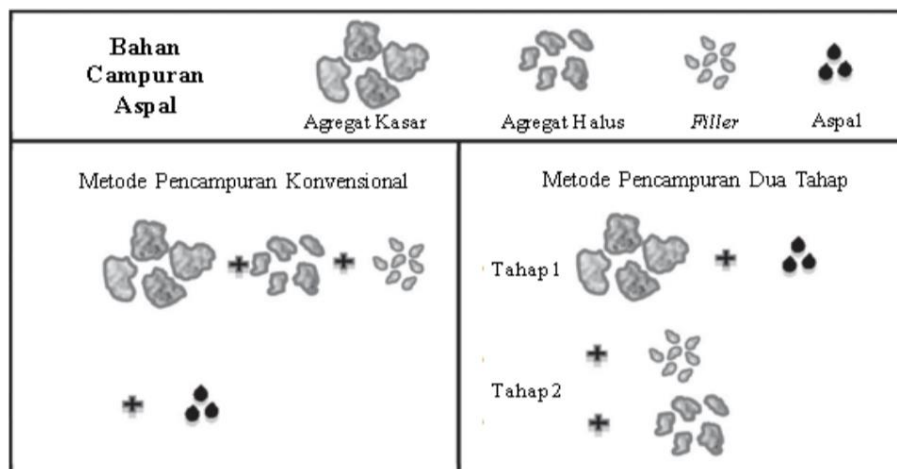
No.	Jenis Pengujian	Metode	Tipe 1 Aspal Pen 60/70
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70
2	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 1,0$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-
3	Viskositas kinematis 135°C (cSt) ⁽³⁾	ASTM D2170-10	≥ 300
4	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
5	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
6	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
7	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥ 99
8	Berat Jenis	SNI 2441:2011	$\geq 1,0$
9	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-
10	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤ 2
Pengujian Residu Hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002)			
11	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	$\leq 0,8$
12	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 2,2$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-
13	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54
14	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50
Residu aspal segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperatur 100°C dan tekanan 2,1 MPa			
15	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik ≤ 5000 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga (2018)

3.3 Metode Pencampuran Perkerasan *Hot Rolled Asphalt (HRA)*

Ketika terjadi pencampuran antara agregat dengan bitumen yang kemudian dalam keadaan dingin, campuran tersebut akan mengeras dan akan mengikat agregat secara bersamaan dan membentuk suatu lapis permukaan perkerasan (Putrowijoyo, 2006).

Metode pencampuran aspal adalah proses mencampur elemen-elemen penyusun campuran perkerasan jalan yang terdiri dari agregat dan aspal. Pada umumnya metode pencampuran terdiri dari dua, yaitu metode pencampuran konvensional dan dua tahap. Metode pencampuran secara konvensional adalah metode pencampuran dengan melakukan pencampuran agregat kasar, agregat halus, dan bahan ikat aspal secara bersamaan. Sedangkan metode pencampuran secara dua tahap adalah metode pencampuran dengan melakukan pencampuran agregat kasar dan bahan ikat aspal terlebih dahulu, kemudian dimasukkan agregat halus setelah campuran agregat kasar dan bahan ikat aspal tercampur merata. Masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan, maka pada penelitian ini akan dibandingkan hasil pengujian dari kedua metode tersebut. Berikut perbedaan proses metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Proses Metode Pencampuran Secara Konvensional dan Dua Tahap

(Sumber: Bjorn Birgisson dkk, 2015)

3.4 Karakteristik Campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)*

Perkerasan jalan terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan. Tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh lapis perkerasan lentur adalah stabilitas (*stability*), keawetan (*durability*), kelenturan (*flexibility*), ketahanan leleh (*fatigue resistance*), ketahanan geser (*skid resistance*),

kedap air (*impermeability*), dan kemudahan dalam pelaksanaan (*workability*) (Sukirman, 2003).

Karakteristik pada campuran *Hot Rolled Asphalt* yang harus dimiliki adalah sebagai berikut.

1. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas adalah kemampuan aspal untuk menahan deformasi akibat beban tetap dan berulang tanpa mengalami keruntuhan (*plastic flow*). Jalan dengan volume lalu lintas tinggi dan sebagian besar merupakan kendaraan berat menuntut stabilitas yang lebih besar dibandingkan dengan jalan yang volume lalu lintasnya hanya terdiri dari kendaraan ringan saja. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang efektif dari lapisan aspal. Faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas adalah kondisi agregat yang baik, rapat, dan mempunyai rongga antar butiran agregat (*VMA*) yang kecil. Tetapi *VMA* yang kecil akan menggunakan kadar aspal yang tinggi dan akan menyebabkan terjadinya aspal tidak dapat menyelimuti agregat dengan baik (*bleeding*).

2. Keawetan (*Durability*)

Durabilitas adalah ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh cuaca, air, perubahan suhu, maupun keausan akibat gesekan roda kendaraan. Faktor yang mempengaruhi durabilitas aspal adalah kadar aspal, nilai *Voids in The Mix (VITM)*, dan nilai *Voids Filled with Asphalt (VFWA)*. Kadar aspal yang banyak dapat mengisi pori yang terdapat dalam campuran. Besarnya pori yang tersisa dalam campuran setelah pemadatan, mengakibatkan durabilitas aspal menurun. Semakin besar pori yang tersisa semakin tidak kedap air dan semakin banyak udara di dalam aspal, yang menyebabkan semakin mudahnya selimut aspal teroksidasi dengan udara dan menjadikan aspal getas yang mempengaruhi nilai durabilitasnya.

3. Kelenturan (*Flexibility*)

Fleksibilitas adalah kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa mengalami retak (*fatigue cracking*) ataupun penurunan akibat beban sendiri tanah timbunan yang

dibuat di atas tanah asli. Faktor yang mempengaruhi fleksibilitas campuran aspal adalah nilai daktilitas kadar aspal, tebal lapis perkerasan, dan penggunaan gradasi agregat yang tepat.

4. Ketahanan Leleh (*Fatigue Resistance*)

Ketahanan leleh adalah kemampuan aspal untuk mengalami beban berulang tanpa terjadi kelelahan berupa retak atau kerusakan alur (*rutting*). Faktor yang mempengaruhi ketahanan leleh campuran aspal adalah kadar aspal, nilai *Voids in The Mix (VITM)*, pemadatan yang cukup, dan kekentalan (viskositas) bitumen yang optimal.

5. Kekesatan/Tahanan Geser (*Skid Resistance*)

Kekesatan adalah kemampuan perkerasan aspal memberikan permukaan yang cukup kesat sehingga kendaraan yang melaluinya tidak mengalami slip, baik di waktu jalan basah atau kering. Faktor yang mempengaruhi kekesatan permukaan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal perkerasan aspal. Untuk mencapai kekesatan yang tinggi perlu pemakaian kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi *bleeding*, dan penggunaan agregat kasar yang cukup.

6. Kedap Air (*Impermeability*)

Impermeabilitas adalah kemampuan aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara ke dalam lapisan aspal. Air dan udara pada lapis perkerasan dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal, dan pengelupasan selimut aspal dari permukaan agregat. Tingkat impermeabilitas aspal berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.

7. Kemudahan Dalam Pelaksanaan (*Workability*)

Workability adalah kemampuan aspal untuk mudah dilakukan penghamparan dan pemadatan. Hal ini mempengaruhi tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam pelaksanaan adalah viskositas aspal, kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur, dan gradasi serta kondisi agregat.

3.5 Pengujian *Marshall* (*Marshall Test*)

Metode yang sering digunakan dalam pengujian campuran perkerasan jalan adalah *Marshall Test*. Metode ini paling efektif untuk menghasilkan desain yang baik dengan membuat beberapa benda uji dengan kadar aspal berbeda kemudian diuji stabilitas dan *flow*.

Pengujian *Marshall* terdiri dari alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 kN atau 5000 lbf serta *flowmeter* untuk mengukur kelelahan plastis atau *flow*. Benda uji *Marshall* berbentuk silinder dengan diameter 4 inci atau 10,2 cm dan tinggi 2,5 inci atau 6,35 cm (Sukirman, 2003).

3.5.1 Pengujian Nilai Stabilitas (*Stability*)

Pengujian stabilitas bertujuan untuk mengukur ketahanan deformasi yang dimiliki pada benda uji. Pengukuran benda uji diperoleh dari pembacaan *flow meter* pada alat tekan *Marshall*. Benda uji sebelumnya direndam di dalam *water bath* selama 30-40 menit dengan suhu 60°C bertujuan untuk memperoleh suhu benda uji sesuai dengan temperatur terpanas di lapangan. Nilai stabilitas dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.1 berikut.

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

dengan:

S = nilai stabilitas,

p = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat, dan

q = angka koreksi benda uji.

3.5.2 Pengujian Nilai Kepadatan (*Density*)

Density adalah tingkat kerapatan campuran setelah campuran dipadatkan. Semakin tinggi nilai *density* suatu campuran menunjukkan bahwa kerapatannya semakin baik. Campuran dengan nilai *density* yang tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar dibanding dengan campuran yang memiliki nilai *density*

yang rendah, karena butiran agregat mempunyai gaya gesek (*friction*) yang besar. Nilai kepadatan (*density*) dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.2 dan Persamaan 3.3 berikut.

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

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

dengan:

- g = nilai *density* (gr/cc),
- c = berat benda uji sebelum direndam (gr),
- d = berat benda uji dalam keadaan jenuh (gr),
- e = berat benda uji di dalam air (gr), dan
- f = volume benda uji (cm³).

3.5.3 Pengujian Nilai Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan (*flow*) adalah besarnya penurunan atau deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterima. Nilai *flow* sangat bergantung pada kadar dan viskositas aspal, gradasi agregat, jumlah tumbukan, dan temperatur pemadatan. Pada kondisi dimana benda uji memiliki nilai *flow* rendah dan stabilitas tinggi maka benda uji tersebut cenderung bersifat kaku dan getas, sebaliknya benda uji yang memiliki nilai *flow* tinggi dan stabilitas rendah cenderung bersifat plastis saat terbebani oleh beban lalu lintas yang melaluinya. Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas, nilai *flow* dapat diperoleh dari *flow meter* alat tekan *Marshall*. Akan tetapi, *flow meter* untuk mengukur nilai *flow* biasanya dalam satuan mm (milimeter).

3.5.4 Pengujian Jenis Volume Pori

Sifat volumetrik aspal padat dapat diketahui dengan menggunakan beberapa parameter (Sukirman, 2003). Diantaranya adalah berat jenis *bulk* (G_{mb}), berat jenis maksimum (G_{mm}), *Voids in Mineral Aggregate (VMA)*, *Voids in Total Mix (VITM)*, dan *Voids Filled with Asphalt (VFWA)*.

1. Berat Jenis *Bulk* beton aspal padat (G_{mb})

Berat jenis *bulk* beton aspal padat adalah berat jenis campuran beton aspal dengan pori/udara, berdasarkan hukum *Archimedes* diperoleh Persamaan 3.4 berikut.

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

dengan:

G_{mb} = berat jenis *bulk* dari beton aspal padat,

B_k = berat kering beton aspal padat (gr),

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

B_a = berat beton aspal padat di dalam air (gr), dan

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

2. Berat Jenis *Bulk* Efektif Agregat (G_{se})

Berat jenis *bulk* efektif agregat adalah berat jenis keseluruhan campuran beton aspal dengan pori/udara, tidak termasuk rongga pori yang terisi aspal. Berat jenis *bulk* efektif agregat diperoleh menggunakan Persamaan 3.5 berikut.

$$G_{se} = \frac{\frac{P_{mm} - P_b}{G_{mm} + G_b}}{\frac{P_{mm} - P_b}{G_{mm} + G_b}} \quad (3.5)$$

dengan:

G_{se} = berat jenis *bulk* efektif agregat,

G_{mm} = berat jenis maksimum campuran aspal yang belum dipadatkan,

P_{mm} = persen berat dari campuran total yang tidak dipadatkan = 100%,
dan

G_b = berat jenis aspal.

3. Berat Jenis Maksimum Beton Aspal Yang Belum Dipadatkan (G_{mm})

Berat jenis maksimum beton aspal yang belum didapatkan adalah berat jenis campuran beton aspal tanpa pori/udara, yang dipadatkan dari penelitian di laboratorium menggunakan prosedur AASHTO T209-90. Berat jenis maksimum beton aspal diperoleh menggunakan Persamaan 3.6 berikut.

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_a}{G_a}} \quad (3.6)$$

dengan:

G_{mm} = berat jenis maksimum campuran aspal yang belum dipadatkan,

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

P_s = kadar agregat terhadap berat beton aspal padat (%),

G_a = berat jenis aspal, dan

G_{se} = berat jenis *bulk* efektif agregat.

4. *Voids in Mineral Aggregate (VMA)*

Voids in Mineral Aggregate (VMA) adalah banyaknya pori/udara yang berada di antara butir-butir agregat dalam beton aspal padat yang dinyatakan dalam persentase. Kuantitas terhadap rongga udara berpengaruh terhadap kinerja suatu campuran, jika nilai *VMA* terlalu besar maka campuran menunjukkan masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi, sedangkan nilai *VMA* terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitasnya. Perhitungan dilakukan berdasarkan volume beton aspal padat = 100 cm³. Nilai *VMA* dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.7 berikut.

$$VMA = \left(100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \right) \% \quad (3.7)$$

dengan:

VMA = volume pori antara agregat di dalam beton aspal padat (%),

G_{mb} = berat jenis *bulk* dari beton aspal padat,

P_s = kadar agregat terhadap berat beton aspal padat (%), dan

G_{sb} = berat jenis *bulk* dari agregat pembentuk beton aspal padat.

5. *Voids in Total Mix (VITM)*

Voids in Total Mix (VITM) adalah pori/udara yang masih tersisa setelah campuran aspal beton dipadatkan. *VITM* bertujuan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas ataupun sebagai ruang aspal yang meleleh akibat naiknya suhu udara di lapangan. Nilai *VITM* dinyatakan dalam persentase. Jika nilai *VITM* semakin tinggi akan menyebabkan kelelahan semakin cepat, hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi. Sebaliknya, jika nilai *VITM* terlalu kecil akan menyebabkan perkerasan mengalami *bleeding* jika temperatur meningkat. Perhitungan dilakukan berdasarkan volume beton aspal padat = 100 cm³. Nilai *VITM* dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.8 berikut.

$$VITM = \left(100 - \frac{G_{mm} \times G_{mb}}{G_{mm}} \right) \% \quad (3.8)$$

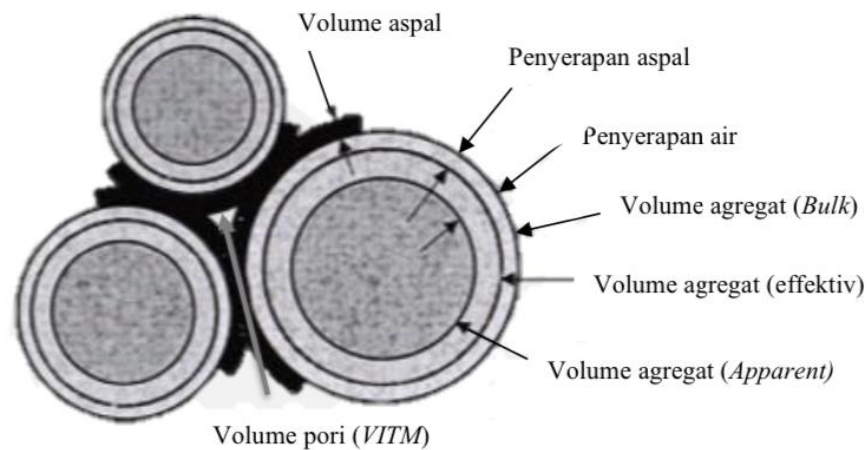
dengan:

$VITM$ = volume pori beton aspal padat (%),

G_{mm} = berat jenis maksimum campuran aspal yang belum dipadatkan,
dan

G_{mb} = berat jenis *bulk* dari beton aspal padat

Berikut adalah ilustrasi volume pori/udara pada campuran aspal yang dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Ilustrasi VMA, Voids, dan Kadar Bitumen Efektif

(Sumber: Subarkah, 2015)

6. *Voids Filled with Asphalt (VFWA)*

Voids Filled with Asphalt (VFWA) adalah persentase pori/udara terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Nilai *VFWA* dipengaruhi oleh faktor pemadatan yaitu jumlah tumbukan, temperatur pemadatan, gradasi agregat, dan kadar viskositas aspal. Nilai *VFWA* berpengaruh terhadap sifat kedekatan dan kelenturan pada campuran aspal, dengan kata lain *VFWA* menentukan stabilitas, fleksibilitas, dan durabilitas. Nilai *VFWA* dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.9 berikut.

$$VFWA = \frac{100 (VMA - VITM)}{VMA} \quad (3.9)$$

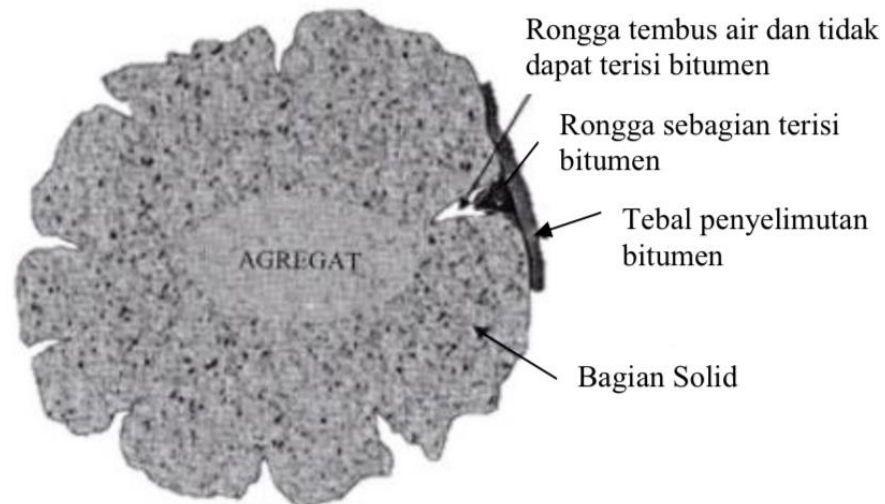
dengan:

VFWA = volume pori antara butir agregat yang terisi aspal (%),

VMA = volume pori antara agregat di dalam beton aspal padat (%), dan

$VITM$ = volume pori beton aspal padat (%).

Berikut adalah ilustrasi volume pori/udara antara butir agregat yang terisi aspal yang dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Ilustrasi Rongga Agregat yang Terisi Bitumen

(Sumber: Subarkah, 2015)

3.5.5 Perhitungan *Marshall Quotient* (MQ)

Marshall Quotient (MQ) adalah perbandingan antara nilai stabilitas dengan nilai kelelahan (*flow*). Semakin tinggi nilai MQ , maka akan semakin tinggi juga kekakuan campuran aspal dan semakin rentan terhadap keretakan. Sedangkan nilai MQ terlalu rendah dapat menyebabkan terjadinya *bleeding*. Nilai MQ dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.10 berikut.

$$MQ = \frac{q}{r} \quad (3.10)$$

dengan:

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

q = nilai stabilitas (kg), dan

r = nilai kelelahan *flow* (mm).

3.6 Pengujian Perendaman (*Immersion Test*)

Immersion Test adalah pengujian campuran aspal untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran aspal akibat pengaruh air, suhu, dan cuaca. Berdasarkan AASHTO T.165-74 atau ASTM D.1075-54 (1969) pengujian perendaman dibagi menjadi 2 kondisi berbeda yaitu perendaman di dalam *water bath* pada suhu 60°C selama 30 menit (stabilitas *standard*) dan perendaman pada suhu 60°C selama 24 jam (stabilitas rendaman). Hasil perhitungan *Index of Retained Strength (IRS)* adalah persentase nilai stabilitas campuran yang direndam selama 24 jam (S_2) yang dibandingkan dengan stabilitas *standard* (S_1). Perhitungan *IRS* dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.11 berikut.

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

dengan:

- S_1 = rata-rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama 30 menit,
dan
 S_2 = rata-rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama 24 jam.

Persyaratan minimum untuk nilai *Index of Retained Strength (IRS)* adalah 75% (Bina Marga 2018). Apabila indeks tahanan campuran lebih atau sama dengan 75%, campuran aspal tersebut memiliki tahanan yang cukup baik dari kerusakan akibat pengaruh air, suhu, dan cuaca.

Salah satu pengaruh perendaman terhadap campuran perkerasan adalah durabilitas (*durability*) campuran tersebut. Nilai durabilitas berhubungan dengan ketahanan pada suatu campuran perkerasan dari kehancuran perkerasan akibat pengaruh cuaca, air, dan beban lalu lintas. Untuk mengetahui nilai sifat durabilitas campuran dapat diukur melalui analisis indeks durabilitas. Craus, dkk. (1981) menyatakan bahwa durabilitas adalah kemampuan campuran bitumen untuk terus menerus melawan pengaruh air dan suhu. Indeks durabilitas menggunakan tiga

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) adalah salah satu parameter pengukur durabilitas untuk mengetahui kepadatan yang tinggi dalam mengurangi infiltrasi air agar mampu mempertahankan stabilitas campuran perkerasan. Nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) merupakan nilai *Index of Retained Strength (IRS)*.

2. Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks Durabilitas Pertama (IDP) adalah salah satu parameter pengukur durabilitas untuk mengetahui jumlah kelandaian yang berurut dari kurva keawetan (durabilitas). Perhitungan IDP dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.12 berikut.

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

dengan:

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) adalah salah satu parameter pengukur durabilitas untuk mengetahui persentase kehilangan kekuatan rata-rata selama proses perendaman. Perhitungan IDK dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.13 berikut.

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

dengan:

- a = kehilangan kekuatan rerata satu hari (%),
- t_n = total waktu perendaman (jam),
- S_i = persentase kekuatan sisa pada waktu $T1$ (%),
- S_{i+1} = persentase kekuatan sisa pada waktu $T1+1$ (%), dan
- t_i, t_{i+1} = periode perendaman (dimulai dari awal pengujian).

Indeks Durabilitas Kedua (IDK) mempunyai nilai “a”, jika hasil nilai “a” yang bernilai positif menunjukkan bahwa campuran tersebut mengalami kehilangan kekuatan, begitupun sebaliknya pada nilai “a” yang bernilai negatif menunjukkan bahwa campuran tersebut mengalami penambahan kekuatan. Berdasarkan hal tersebut, maka nilai $a < 100$ yang dapat dinyatakan menjadi persentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari (S_a). Persentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari (S_a) dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.14 berikut.

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

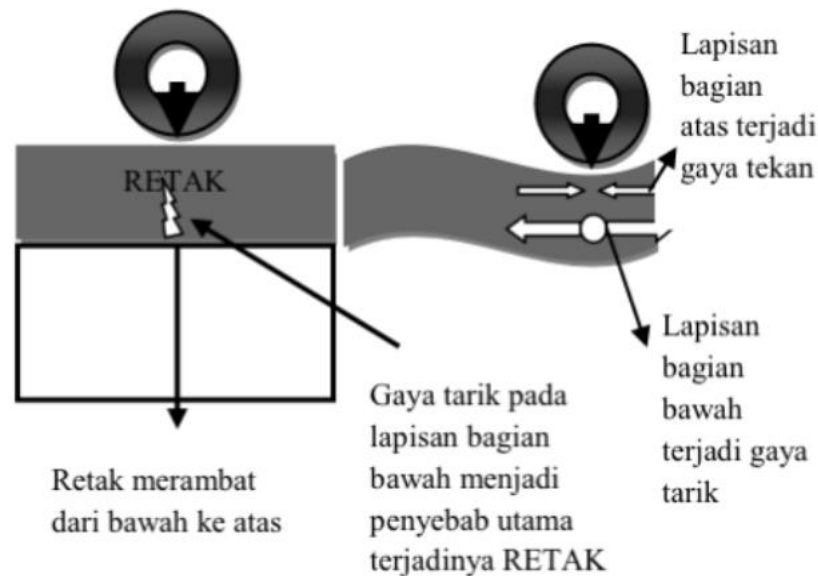
dengan:

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

3.7 Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Indirect Tensile Strength Test adalah pengujian campuran aspal yang bertujuan untuk mengetahui nilai gaya tarik yang dapat mengevaluasi potensi retakan (*fatigue*) pada campuran aspal. Sifat uji ini adalah kegagalan gaya tarik yang berguna untuk memperkirakan potensial retakan (Sunarjono, 2012). Berikut

adalah mekanisme terjadinya gaya tarik dan kerusakan retak pada lapisan aspal dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Mekanisme Terjadinya Gaya Tarik dan Kerusakan Retak

(Sumber: Sunarjono, 2012)

Beban Roda yang ditunjuk pada Gambar 3.5 menimbulkan gaya tekan ke bawah. Ketika beban roda berhenti atau bergerak memberikan gaya tekan ke aspal sehingga lapisan aspal mengalami lendutan. Pada lapisan aspal yang cukup tebal (>20 cm) retak terjadi dari lapis atas merambat ke bawah, sebaliknya untuk lapisan aspal yang tidak tebal (<20cm) retak terjadi dari lapis bawah merambat ke atas.

Pengujian *ITS* ini dilakukan dengan memberikan beban tarik kepada benda uji secara tidak langsung. Tetapi dihitung dengan pembebanan maksimum dimana dilakukan pembebanan tekan secara terus menerus secara vertikal sampai tercapai beban maksimum.

Pengujian gaya tarik tidak langsung secara normal dilaksanakan menggunakan alat tekan *Marshall* yang telah dimodifikasi dengan plat berbentuk cekung dengan lebar 12,5 mm pada bagian penekan *Marshall*. Nilai *ITS* dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.15 berikut.

$$ITS = \frac{P_{maks} \times A_o}{h \times d} \quad (3.15)$$

dengan:

ITS = kuat tarik tidak langsung (kg/cm^2),

P_{maks} = beban puncak (kg),

h = tinggi sampel (cm),

d = diameter sampel (cm), dan

A_o = konstanta (tabel A_o terlampir pada lampiran).

3.8 Pengujian *Tensile Strength Ratio* (TSR)

Tensile Strength Ratio Test adalah pengujian campuran aspal yang bertujuan untuk mengetahui nilai gaya tarik campuran aspal yang telah direndam dengan variasi perendaman tertentu. Nilai *Tensile Strength Ratio Test* (TSR) dilakukan dengan membandingkan nilai *ITS conditioned* (perendaman) dengan nilai *ITS unconditioned* (tanpa perendaman). Nilai *Tensile Strength Ratio Test* (TSR) yang disyaratkan oleh *Asphalt Institute* harus lebih besar dari 80%. Nilai *Tensile Strength Ratio Test* (TSR) dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.16 berikut.

$$TSR = \frac{ITS_n}{ITS_o} \times 100 \quad (3.16)$$

dengan:

TSR = angka *Tensile Strength Ratio* (kg/cm^2),

ITS_o = kuat tarik tidak langsung awal (kg/cm^2), dan

ITS_n = kuat tarik tidak langsung dengan durasi perendaman (kg/cm^2).

3.9 Pengujian *Cantabro Loss*

Cantabro Test adalah pengujian campuran aspal yang bertujuan untuk mengetahui ketahanan terhadap pengaruh beban lalu lintas yang berulang-ulang

yang menyebabkan perkerasan menjadi aus dan mengalami penurunan kekuatan. Pengujian ini menggunakan alat mesin *Los Angeles* dengan kondisi benda uji yang sudah dipadatkan pada kedua sisinya sebanyak 2x50 kali tumbukan. Setelah itu benda uji diletakkan di dalam drum mesin *Los Angeles* tanpa bola dan diputar sebanyak 300 kali putaran. Nilai *Cantabro Loss* dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.17 berikut.

$$L = \frac{M_o - M_i}{M_o} \times 100\% \quad (3.17)$$

dengan:

L = persentase kehilangan berat (%),

M_o = berat sebelum diabrasi (gr), dan

M_i = berat setelah diabrasi (gr).

3.10 Pengujian *Asphalt Flow Down (AFD)*

Asphalt Flow Down adalah pengujian campuran aspal yang bertujuan untuk mengetahui kadar aspal maksimum yang tercampur sampai *homogen* dengan agregat tanpa adanya pemisahan aspal. Pengujian ini merupakan sebuah analisis rencana untuk mengetahui tidak terjadinya pemisahan aspal selama pengangkutan dari *Asphalt Mixing Plant (AMP)* ke lokasi penghamparan. Nilai *AFD* dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.18 berikut.

$$AFD = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100\% \quad (3.18)$$

dengan:

AFD = nilai *asphalt flow down* (%),

m_1 = berat cetakan berupa nampan (gr)

m_2 = berat cetakan beserta campuran beraspal (gr), dan

m_3 = berat cetakan beserta campuran aspal yang melekat pada alumunium *foil* (gr).

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode Penelitian adalah gambaran dari langkah-langkah yang digunakan penulis atau peneliti untuk menjawab rumusan masalah yang telah dibuat dan jawaban tersebut akan diuraikan secara sistematis yang bertujuan agar penelitian berjalan sesuai tujuan. Dalam penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental, yaitu metode yang dilakukan dengan mengadakan kegiatan percobaan untuk mendapatkan data. Data yang sudah didapat lalu dianalisis guna mendapatkan hasil perbandingan dengan syarat-syarat atau standar spesifikasi yang telah ditentukan. Persyaratan yang digunakan mengacu pada peraturan Bina Marga 2018, Standar Nasional Indonesia (SNI), dan *British Standard (BS)*. Tujuan pada penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan metode pencampuran secara konvensional dan dua tahap pada perkerasan *Hot Rolled Asphalt (HRA)* terhadap karakteristik *Marshall*, *Indirect of Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down (AFD)*.

4.2 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan metode tertentu dan melalui beberapa ketentuan yang disusun secara sistematis sehingga sesuai dengan tujuan penelitian. Data yang dikumpulkan dapat diambil dari berbagai sumber. Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Data primer adalah data yang diperoleh dari sumber data. Data ini biasanya selalu bersifat spesifik karena disesuaikan oleh kebutuhan peneliti, serta untuk memperoleh data tersebut dikumpulkan melalui eksperimen, survei, dan sebagainya. Langkah yang dilakukan dalam mengumpulkan data primer

pada penelitian ini antara lain seperti melakukan pemeriksaan bahan, mencari Kadar Aspal Optimum (KAO), melakukan pengujian karakteristik *Marshall*, *Indirect of Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down (AFD)*.

2. Data sekunder adalah data yang ditunjukkan sebagai penunjang data utama atau data primer. Data sekunder diperoleh dari instansi-instansi terkait yang berhubungan dengan pengamatan yang dilakukan.

4.3 Tahapan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia (UII), Yogyakarta. Adapun pada tahapan penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahap yaitu sebagai berikut.

1. Tahapan Persiapan
Dalam tahap ini merupakan proses persiapan bahan serta alat yang digunakan untuk pembuatan sampel.
2. Perancangan Gradasi dan Berat Agregat
Dalam tahap ini merupakan proses perencanaan gradasi dan kebutuhan material yang digunakan.
3. Tahapan Pembuatan Sampel
Tahapan pembuatan sampel merupakan proses pembuatan sampel yang harus sesuai dengan perencanaan sebelumnya.
4. Tahapan Pengujian Sampel
Tahapan pengujian sampel merupakan tahapan-tahapan atau rangkaian pengujian yang sudah ditentukan pada saat perencanaan awal serta sesuai dengan prosedur pengujian serta menggunakan alat yang sudah terkalibrasi untuk dapat menghasilkan data yang valid.
5. Tahapan Analisis Data
Tahapan analisis data merupakan proses rangkaian menganalisis serta mengolah data yang sudah didapatkan dari hasil pengujian sampel sebelumnya. Hasil analisis data kemudian dibandingkan dengan standar-

standar yang sudah ditetapkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI) ataupun Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

6. Tahapan Kesimpulan

Tahapan kesimpulan merupakan proses penyimpulan hasil perbandingan analisis data dengan standar-standar yang ada, dan hasil perbandingan ini bersifat *final*.

4.3.1 Persiapan Alat

Pada penelitian ini dibutuhkan alat-alat untuk menguji sampel campuran perkerasan aspal. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penyaringan agregat berdasarkan ukuran, seperti saringan (*sieve*) berbagai ukuran dan mesin penyaring (*sieve shaker machine*).
2. Peralatan pengujian fisik agregat, seperti mesin *Los Angeles*, saringan standar, *vibrator*, dan tabung *Sand Equivalent*.
3. Peralatan pengujian fisik aspal, seperti alat ukur penetrasi aspal, daktilitas aspal, kelarutan 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 cm (3") dilengkapi dengan pelat atas dan leher sambung.
5. Alat tekan *Marshall* yang terdiri sebagai berikut.
 - 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 untuk memanaskan bahan yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(200 \pm 3)^\circ\text{C}$.

7. *Ejector*, alat untuk mengeluarkan benda uji yang telah dipadatkan dari cetakan.
8. *Compactor*, alat penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata berbentuk silinder dengan berat 4,536 kg (10 pound) dan tinggi jatuh beban 45,7 cm (18").
9. Bak perendam (*water bath*), dilengkapi dengan pengatur 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*, yang meliputi:
 - 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, seperti kompor, wajan, spatula, sarung tangan karet, gelas ukur, panci, kain lap, bak plastik, jangka sorong, termometer, dan lain-lain.

4.3.2 Persiapan Bahan

Pada penelitian ini digunakan bahan-bahan yang dibutuhkan untuk membuat sampel campuran perkerasan dan sudah melalui pengujian bahan untuk mengetahui karakteristik dari bahan-bahan tersebut. Berikut bahan yang digunakan untuk penelitian ini, meliputi:

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 Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Serta bahan-bahan ini harus melalui tahapan pengujian yang akan dijelaskan di bawah ini.

1. Pengujian agregat

Pengujian agregat pada penelitian ini meliputi:

a. Pengujian Penyerapan Air

Pengujian ini menggunakan SNI 1969:2008 sebagai pedoman. Dimana pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat penyerapan air oleh agregat.

b. Pengujian Berat Jenis

Pengujian ini menggunakan SNI 1970:2008 sebagai pedoman. Dimana pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis, berat kering permukaan jenuh, dan berat semu dari agregat.

c. Pengujian Kelekatan Aspal pada Agregat

Pengujian ini menggunakan SNI 2439:2011 sebagai pedoman. Dimana pengujian ini bertujuan untuk mengetahui daya lekat suatu agregat terhadap aspal.

d. Pengujian Abrasi (*Los Angeles*)

Pengujian ini menggunakan SNI 2417:2008 sebagai pedoman. Dimana pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai keausan agregat.

e. Pengujian *Sand Equivalent*

Pengujian ini menggunakan SNI 3423:2008 sebagai pedoman. Dimana pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kadar debu dan lumpur pada agregat halus.

2. Pengujian Aspal

Pengujian aspal yang dilakukan pada penelitian ini meliputi:

a. Pengujian Titik Lembek Aspal

Pengujian ini menggunakan SNI 06-2434-2011 sebagai pedoman. Dimana pengujian ini bertujuan untuk mengetahui aspal akan mengalami kelelahan pada temperatur berapa.

b. Pengujian Penetrasi Aspal

Pengujian ini menggunakan SNI 2456:2011 sebagai pedoman. Dimana pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai penetrasi aspal yang akan digunakan.

- c. Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar
Pengujian ini menggunakan SNI 2433:2011 sebagai pedoman. Dimana pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perkiraan temperatur maksimum pemanasan aspal yang akan digunakan sehingga aspal tidak mencapai titik dimana akan terbakar.
- d. Pengujian Berat Jenis Aspal
Pengujian ini menggunakan SNI 2411:2011 sebagai pedoman. Dimana pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis campuran antara aspal dan agregat yang nantinya akan berpengaruh pada kelekatan aspal
- e. Pengujian Kelarutan Dalam *TCE (Trichloroethylene)*
Pengujian ini menggunakan AASHTO T44-14 sebagai pedoman. Dimana pengujian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah aspal yang larut dalam *Trichloroethylene*.
- f. Pengujian Daktilitas Aspal
Pengujian ini menggunakan SNI 2432:2011 sebagai pedoman. Dimana pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat kohesi pada aspal melalui kemampuan aspal untuk bertambah panjang saat ditarik sampai mengalami putus pada rangkaian pengujiannya.

4.3.3 Perencanaan Campuran

Pada tahap ini dilakukan perencanaan campuran berdasarkan jenis perkerasan yang digunakan. Penelitian ini menggunakan perkerasan *Hot Rolled Asphalt (HRA)* dengan acuan gradasi berdasarkan persyaratan *British Standard (BS)*. Gradasi agregat campuran perkerasan *Hot Rolled Asphalt (HRA)* adalah gradasi senjang (*gap grade*) dan gradasi tipe C berdasarkan *British Standard (BS)*. Gradasi agregat campuran perkerasan *Hot Rolled Asphalt (HRA)* dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Gradasi Agregat Campuran *Hot Rolled Asphalt*

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)	
	Min	Max	Lolos	Tertahan
20 mm (3/4")	100	100	100	0
14 mm (1/2")	85	100	92,5	7,5
10 mm (3/8")	60	90	75	25
2,36 mm (No. 8)	60	72	66	34
0,6 mm (No. 30)	25	45	35	65
0,212 mm (No. 70)	15	30	22,5	77,5
0,075 mm (No. 200)	8	12	10	90
PAN	0	0	0	100

Sumber: *British Standard, BS 594 (1992)*

Setelah perencanaan gradasi agregat, dilakukan perhitungan kadar aspal optimum (KAO) yang akan digunakan. Perhitungan kadar aspal optimum rencana dapat dicari menggunakan Persamaan 4.1 berikut.

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

dengan:

P_b = kadar aspal perkiraan,

CA = agregat kasar tertahan saringan No. 8,

FA = agregat halus lolos saringan No. 8 dan tertahan No. 200,

Filler = agregat halus lolos saringan No. 200, dan

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

Berdasarkan Persamaan 4.1 didapat nilai kadar aspal optimum sebagai berikut.

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

$$P_b = 0,035 \times (34\%) + 0,045 \times (56\%) + 0,18 (10\%) + 1$$

$$P_b = 6,51\% \text{ dibulatkan menjadi } 6,5\%$$

Dari hasil perhitungan nilai P_b didapat sebesar 6,5%. Maka, pada penelitian ini variasi kadar yang dipakai adalah 5,5%, 6%, 6,5%, 7%, dan 7,5% terhadap berat

total campuran. Berat total campuran untuk setiap benda uji adalah 1.200gram dengan menggunakan bahan ikat aspal Pen 60/70.

Kebutuhan agregat pada tiap-tiap kadar 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%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Persentase (%)		Berat (gr)	
	Min	Max	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
20 mm (3/4")	100	100	100	0	1.134	0
14 mm (1/2")	85	100	92,5	7,5	1.048,95	85,05
10 mm (3/8")	60	90	75	25	850,50	198,45
2,36 mm (No. 8)	60	72	66	34	748,44	102,06
0,6 mm (No. 30)	25	45	35	65	396,90	351,54
0,212 mm (No. 70)	15	30	22,5	77,5	255,15	141,75
0,075 mm (No. 200)	8	12	10	90	113,40	141,75
PAN	0	0	0	100	0	113,40
TOTAL						1.134

Tabel 4.3 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Persentase (%)		Berat (gr)	
	Min	Max	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
20 mm (3/4")	100	100	100	0	1.128	0
14 mm (1/2")	85	100	92,5	7,5	1.043,40	84,60
10 mm (3/8")	60	90	75	25	846,0	197,40
2,36 mm (No. 8)	60	72	66	34	744,48	101,52
0,6 mm (No. 30)	25	45	35	65	394,80	349,68
0,212 mm (No. 70)	15	30	22,5	77,5	253,80	141,0
0,075 mm (No. 200)	8	12	10	90	112,80	141,0
PAN	0	0	0	100	0	112,80
TOTAL						1.128

Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6,5%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Persentase (%)		Berat (gr)	
	Min	Max	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
20 mm (3/4")	100	100	100	0	1.122	0
14 mm (1/2")	85	100	92,5	7,5	1.037,85	84,15
10 mm (3/8")	60	90	75	25	841,50	196,35
2,36 mm (No. 8)	60	72	66	34	740,52	100,98
0,6 mm (No. 30)	25	45	35	65	392,70	347,82
0,212 mm (No. 70)	15	30	22,5	77,5	252,45	140,25
0,075 mm (No. 200)	8	12	10	90	112,20	140,25
PAN	0	0	0	100	0	112,20
TOTAL						1.122

Tabel 4.5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Persentase (%)		Berat (gr)	
	Min	Max	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
20 mm (3/4")	100	100	100	0	1.116	0
14 mm (1/2")	85	100	92,5	7,5	1.032,30	83,70
10 mm (3/8")	60	90	75	25	837,0	195,30
2,36 mm (No. 8)	60	72	66	34	736,56	100,44
0,6 mm (No. 30)	25	45	35	65	390,60	345,96
0,212 mm (No. 70)	15	30	22,5	77,5	251,10	139,50
0,075 mm (No. 200)	8	12	10	90	111,60	139,50
PAN	0	0	0	100	0	111,60
TOTAL						1.116

Tabel 4.6 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7,5%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Persentase (%)		Berat (gr)	
	Min	Max	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
20 mm (3/4")	100	100	100	0	1.110	0
14 mm (1/2")	85	100	92,5	7,5	1.026,75	83,25
10 mm (3/8")	60	90	75	25	832,50	194,25
2,36 mm (No. 8)	60	72	66	34	732,60	99,90
0,6 mm (No. 30)	25	45	35	65	388,50	344,10
0,212 mm (No. 70)	15	30	22,5	77,5	249,75	138,75
0,075 mm (No. 200)	8	12	10	90	111,0s	138,75
PAN	0	0	0	100	0	111,0
TOTAL						1.110

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

Jumlah total benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah sebanyak 45 buah, yang diantaranya digunakan untuk mencari nilai KAO sebanyak 15 buah dan 30 buah untuk pengujian pada KAO. Jumlah benda uji yang dibutuhkan 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>Hot Rolled Asphalt</i>	3	3	3	3	3	15

Tabel 4.8 Jumlah Benda Uji untuk Tiap Pengujian pada KAO

Pengujian	Variasi Pencampuran	
	Metode 1	Metode 2
	<i>Hot Rolled Asphalt</i>	<i>Hot Rolled 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>AFD</i>	3	3
Jumlah	18	18
Total	36	

4.3.4 Pembuatan Benda Uji

Setelah dilakukan perencanaan campuran benda uji, selanjutnya adalah pembuatan benda uji itu sendiri. Tahapan pertama yang dilakukan adalah menyaring agregat yang bertujuan untuk memisahkan ukuran butiran sesuai dengan nomor ukuran saringan agregat. Penyaringan agregat ini menggunakan mesin penyaring (*sieve shaker machine*). Kemudian membuat campuran agregat pada masing-masing benda uji dan ditimbang berdasarkan kebutuhan tiap kadar aspal,

campuran agregat aspal ini dibungkus dengan plastik agar tidak tercampur dengan campuran agregat yang lain.

Pada penelitian ini menggunakan dua metode pencampuran pada saat proses pencampuran antara agregat dan aspal. Metode pencampuran yang digunakan adalah metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap. Maka proses pencampuran benda uji berdasarkan dua metode tersebut dengan proses seperti berikut ini.

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 selembar 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 selembar kertas minyak di atas permukaan cetakan.
 5. Meletakkan cetakan benda uji (*mold*) di atas dudukan pada alat penumbuk. Menumbuk sebanyak 50 kali pukulan di sisi pertama dan menumbuk sebanyak 50 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.

4.3.5 Pengujian *Marshall Test*

Marshall Test bertujuan untuk memperoleh nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*). Setelah mendapatkan hasil dari *Marshall Test* tersebut, dilakukan analisis perhitungan untuk mendapatkan nilai kepadatan (*density*), *Voids in Mineral Aggregate (VMA)*, *Voids in Total Mix (VITM)*, *Voids Filled with Asphalt (VFWA)*, dan *Marshall Quotient (MQ)*. Cara pengujian *Marshall Test* dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut ini.

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. Menimbang benda uji untuk mengetahui berat keringnya,
4. Merendam benda uji di dalam air dengan suhu ruang selama 20-24 jam, hal ini bertujuan untuk membuat benda uji dalam keadaan jenuh air,
5. Menimbang benda uji dengan menggunakan timbangan yang sudah dipasang alat untuk menimbang benda uji di dalam air,
6. Mengeringkan benda uji dengan kain lap sampai permukaan benda uji tidak terdapat air atau kondisi *Saturated Surface Dry (SSD)*,
7. Menimbang benda uji dalam kondisi *Saturated Surface Dry (SSD)*,
8. Merendam benda uji ke dalam bak perendam (*water bath*) 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.

4.3.6 Pengujian *Immersion Test*

Pada pengujian ini memiliki kesamaan dalam proses pengujian dengan pengujian *Marshall Test*. Hal yang berbeda adalah pada lama perendaman yang dilakukan pada bak perendam (*water bath*) yaitu selama 24 jam. Pengujian *Immersion Test* dapat dilakukan dengan cara 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. Menimbang benda uji untuk mengetahui berat keringnya,
4. Merendam benda uji di dalam air dengan suhu ruang selama 20-24 jam, hal ini bertujuan untuk membuat benda uji dalam keadaan jenuh air,
5. Menimbang benda uji dengan menggunakan timbangan yang sudah dipasang alat untuk menimbang benda uji di dalam air,
6. Mengeringkan benda uji dengan kain lap sampai permukaan benda uji tidak terdapat air atau kondisi *Saturated Surface Dry (SSD)*,
7. Menimbang benda uji dalam kondisi *Saturated Surface Dry (SSD)*,
8. Merendam benda uji ke dalam bak perendam (*water bath*) selama 24 jam 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. Menaikkan kepala penekan benda uji 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.

4.3.7 Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Langkah-langkah pengujian *ITS* 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.

4.3.8 Pengujian *Tensile Strength Ratio (TSR)*

Langkah-langkah 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 (*water bath*) 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.

4.3.9 Pengujian *Cantabro Loss*

Langkah-langkah 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.

4.3.10 Pengujian *Asphalt Flow Down (AFD)*

Langkah-langkah pengujian *Asphalt Flow Down* adalah sebagai berikut.

1. Menimbang berat nampan yang telah dilapisi alumunium *foil*,
2. Membuat campuran aspal dan dicampur hingga *homogen*,
3. Menuangkan campuran aspal di atas nampan yang sudah dilapisi alumunium *foil* dan diratakan permukaannya, setelah itu ditimbang dan dicatat beratnya,
4. Memasukkan nampan yang telah terisi campuran aspal ke dalam oven dengan suhu ± 160 °C selama ± 60 menit, dan
5. Mengeluarkan nampan dari dalam oven dan campuran aspal ditumpahkan secara cepat, setelah itu menimbang berat timbangan beserta campuran aspal yang melekat pada alumunium *foil* dan dicatat beratnya.

4.4 Analisis Data

Setelah dilakukan pengujian, selanjutnya adalah menganalisis data. Adapun analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Analisis Karakteristik *Marshall*

Dari pengujian *Marshall* diperoleh data sebagai berikut.

- a. Berat benda uji sebelum direndam (gr),
- b. Berat benda uji di dalam air (gr),
- c. Berat benda uji dalam keadaan jenuh (gr),

- 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 menggunakan rumus berikut ini.

- a. Berat Jenis Aspal

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

dengan:

- A = berat piknometer dengan penutup (gr),
- B = berat piknometer berisi air (gr),
- C = berat piknometer berisi aspal (gr), dan
- D = berat piknometer berisi aspal dan air (gr).

- b. Berat Jenis Agregat

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

dengan:

- 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. *Marshall Quotient (MQ)* menggunakan Persamaan 3.10.
- f. *Voids in Mineral Aggregate (VMA)* menggunakan Persamaan 3.7.
- g. *Voids in Total Mix (VITM)* menggunakan Persamaan 3.8.
- h. *Voids Filled with Asphalt (VFWA)* menggunakan Persamaan 3.9.

2. Analisis Kadar Aspal Optimum (KAO)

Pemilihan KAO pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* ditentukan pada karakteristik pada hasil pengujian *Marshall* yang memenuhi kriteria parameter berikut.

- a. *Voids in Total Mix (VITM)* dengan syarat minimum 4% dan maksimum 6%.
- b. *Voids in Mineral Aggregate (VMA)* dengan syarat minimum 18%.
- c. Kadar aspal campuran dengan syarat minimum 6%.
- d. Kelelehan (*flow*) dengan syarat minimum 3 mm.

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

3. Analisis *Immersion Test*

Nilai *Index of Retained Strength* diperoleh dari hasil *Immersion Test* kemudian analisis data menggunakan Persamaan 3.11. Setelah itu Nilai Indeks Durabilitas Pertama dan Nilai Indeks Durabilitas Kedua diperoleh dari hasil *Index of Retained Strength* dengan menggunakan Persamaan 3.12, Persamaan 3.13, dan Persamaan 3.14.

4. Analisis *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Indirect Tensile Strength (ITS) adalah untuk mendapatkan kuat tarik maksimum, yang dihitung dari puncak beban kemudian dianalisis menggunakan Persamaan 3.15.

5. Analisis *Tensile Strength Ratio (TSR)*

Nilai *Tensile Strength Ratio (TSR)* diperoleh dari kuat tarik maksimum untuk benda uji *conditioned* kemudian analisis data menggunakan Persamaan 3.16.

6. Analisis *Cantabro Loss*

Nilai *Cantabro Loss* diperoleh dari uji keausan menggunakan mesin *Los Angeles* dan kemudian analisis data menggunakan Persamaan 3.17.

7. Analisis *Asphalt Flow Down* (AFD)

Nilai *Asphalt Flow Down* diperoleh dari uji kelekatan aspal dan kemudian analisis data menggunakan Persamaan 3.18.

8. Analisis Statistik *T-Test*

Pada penelitian ini menggunakan metode analisis *T-Test* yang bertujuan untuk mengetahui perubahan yang terjadi akibat dari perbedaan metode pencampuran secara konvensional dan secara dua tahap pada perkerasan *Hot Rolled Asphalt* (HRA).

Sehingga hipotesis matematika yang digunakan pada analisis data penelitian ini adalah sebagai berikut.

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

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

dengan:

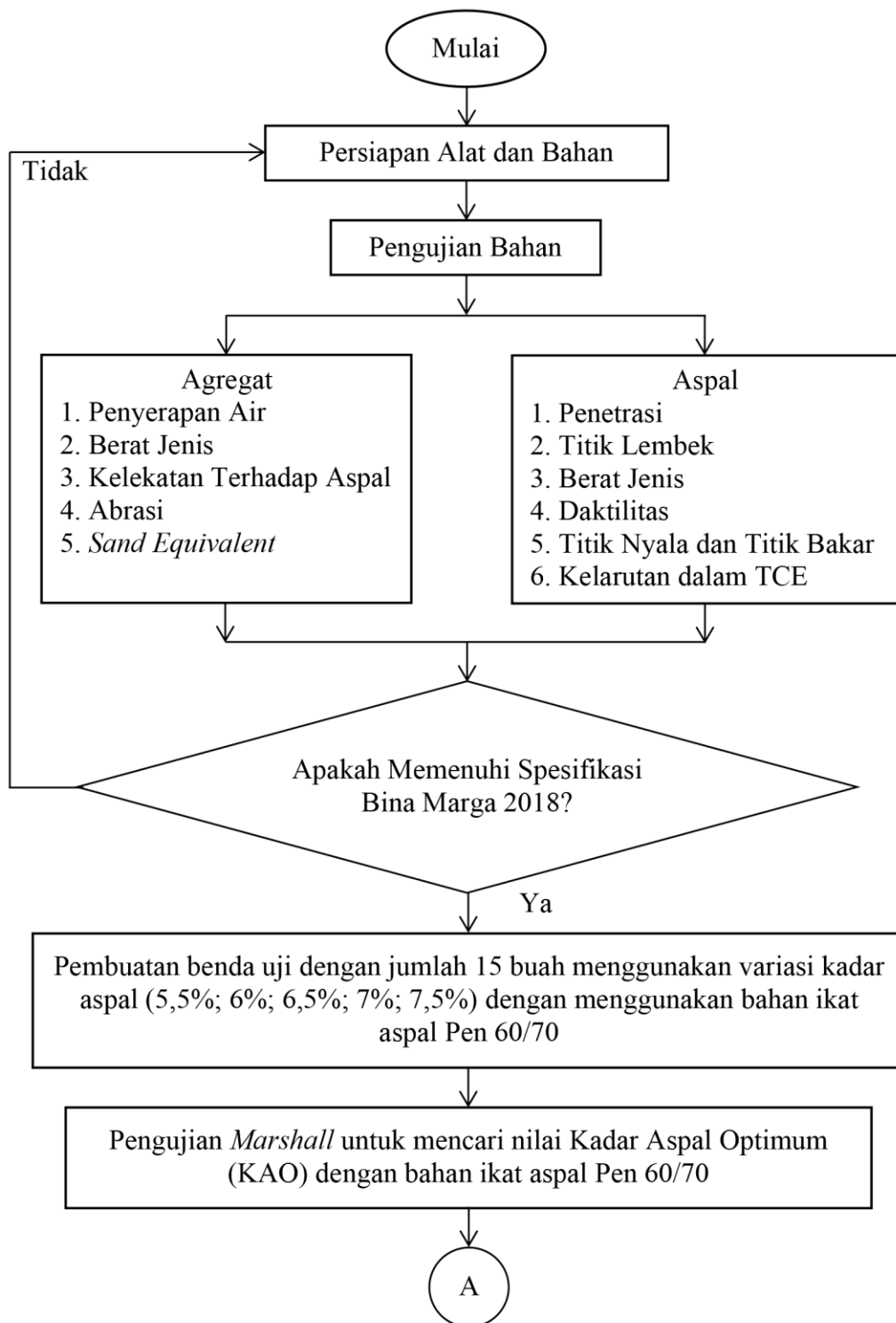
H_0 = tidak ada perbedaan yang signifikan terhadap karakteristik campuran *Hot Rolled Asphalt* (HRA) dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 akibat adanya perbedaan metode pencampuran, dan

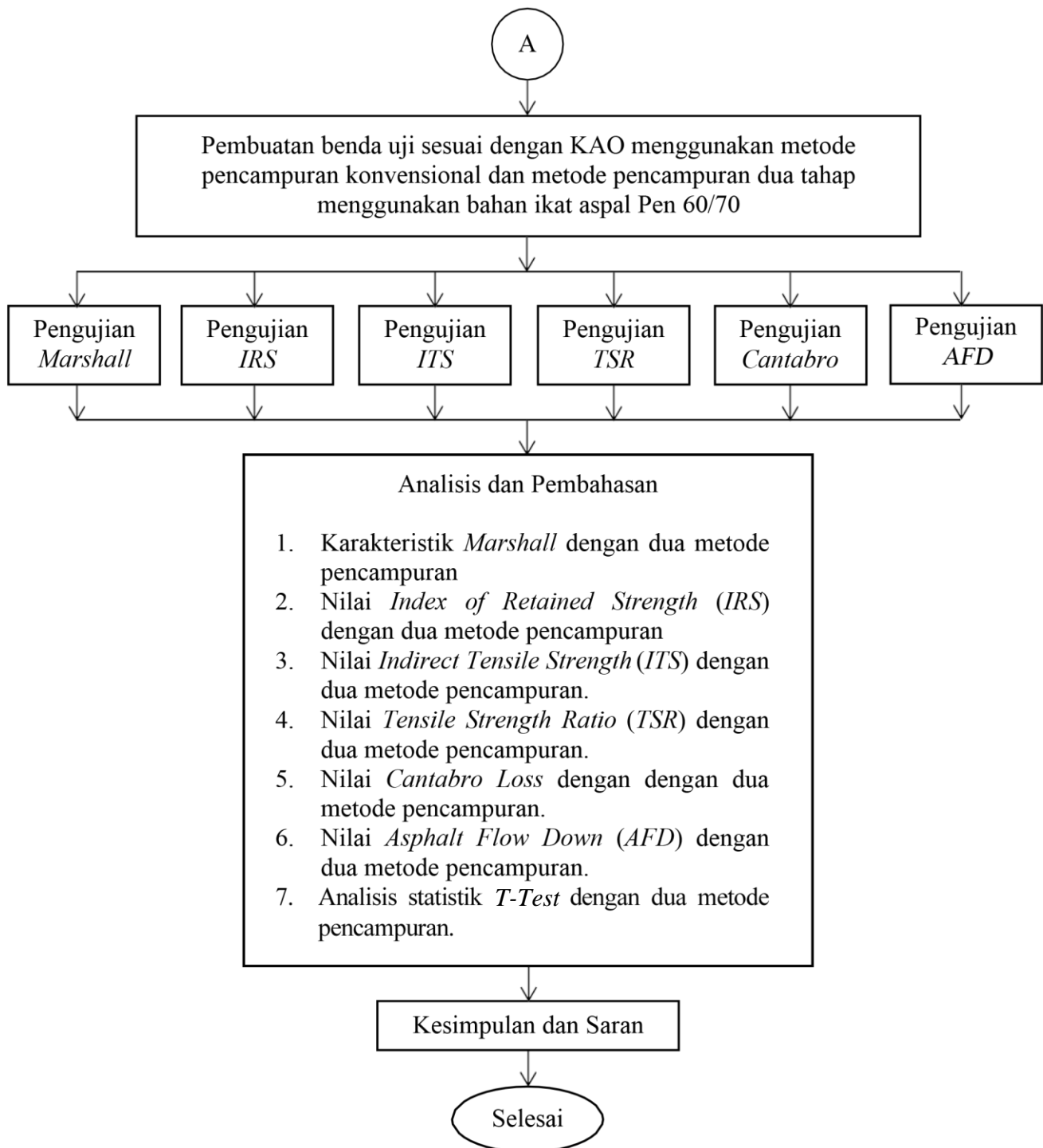
H_1 = ada perbedaan signifikan terhadap karakteristik campuran *Hot Rolled Asphalt* (HRA) dengan aspal bahan ikat aspal Pen 60/70 akibat adanya perbedaan metode pencampuran.

Jika nilai rasio uji yang didapat $t < 0.05$ berada di daerah penolakan, maka H_0 ditolak. Begitu juga sebaliknya jika nilai rasio uji yang didapat $t > 0.05$ berada di daerah penerimaan, maka H_1 ditolak dan H_0 diterima.

4.5 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian adalah bagan yang menunjukkan alir atau tahapan-tahapan dalam penelitian yang dibuat secara singkat dan jelas. Bagan alir dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.





Gambar 4.1 Bagan Alir Penelitian

BAB V

HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian

Pada pengujian campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* menggunakan perbandingan dua metode yaitu metode pencampuran konvensional adalah pencampuran antara agregat dan aspal secara bersamaan dan metode pencampuran dua tahap adalah pencampuran pertama antara agregat kasar dan aspal, kemudian dimasukkan agregat halus hingga tercampur merata. Bahan ikat yang digunakan adalah aspal Pen 60/70 dan dilakukan pengujian di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian sifat fisik agregat dan aspal, mencari Kadar Aspal Optimum (KAO), dan menguji karakteristik dari benda uji berdasarkan KAO yang didapatkan menggunakan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap. Berikut hasil pengujian pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 dan menggunakan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap.

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat dan *Filler*

Pengujian ini menggunakan agregat kasar, agregat halus, dan *filler* debu batu yang diperoleh dari Clereng, Kab. Kulonprogo, D.I. Yogyakarta. Pengujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta yang mengacu pada persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.1, Tabel 5.2, dan Tabel 5.3. Hasil pengujian karakteristik agregat selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Karakteristik 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 (%)	98,00	Min. 95	Memenuhi
4	Keausan dengan Mesin <i>Los Angeles</i> (%)	14,79	Maks. 40	Memenuhi

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Karakteristik 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> (%)	90,61	Min. 50	Memenuhi

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Karakteristik *Filler*

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

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian ini menggunakan bahan ikat aspal Pertamina Pen 60/70 yang sudah tersedia di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Pengujian ini mengacu pada persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.4. Hasil pengujian karakteristik aspal selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Pertamina Pen 60/70

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	58,0	≥ 48	Memenuhi

5.1.3 Hasil Pengujian *Marshall* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Pada pengujian *Marshall* akan mendapatkan data berupa nilai-nilai karakteristik *Marshall* yaitu nilai stabilitas (*stability*) dan kelelahan (*flow*). Setelah mendapatkan hasil dari *Marshall Test* tersebut, dilakukan analisis perhitungan untuk mendapatkan nilai kepadatan (*density*), *Voids in Mineral Aggregate (VMA)*, *Voids in Total Mix (VITM)*, *Voids Filled with Asphalt (VFWA)*, dan *Marshall Quotient (MQ)*.

Variasi kadar aspal yang digunakan yaitu 5,5%, 6%, 6,5%, 7%, dan 7,5% terhadap berat total campuran, lalu diuji dengan pengujian *Marshall*. Setelah pengujian Kadar Aspal Optimum (KAO) ditentukan sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) pada bagian Lataston Lapis Fondasi. Digunakan persyaratan Lataston Lapis Fondasi, karena lapisan tersebut memiliki karakteristik gradasi yang menyerupai dengan *Hot Rolled Asphalt (HRA)* yaitu gradasi senjang (*gap grade*) dan karakter campuran yang sama antar keduanya. Parameter yang digunakan berdasarkan persyaratan tersebut adalah nilai stabilitas (*stability*) minimum 600 kg, nilai *flow* minimum 3 mm dan maksimum 5 mm, nilai *VFWA* minimum 68%, nilai *VITM* minimum 3% dan maksimum 5%, nilai *VMA* minimum 17%, nilai *MQ* minimum 250 kg/mm, nilai kepadatan (*density*) minimum 2 gr/cc, dan nilai kadar aspal efektif minimum 5,5% terhadap berat total campuran.

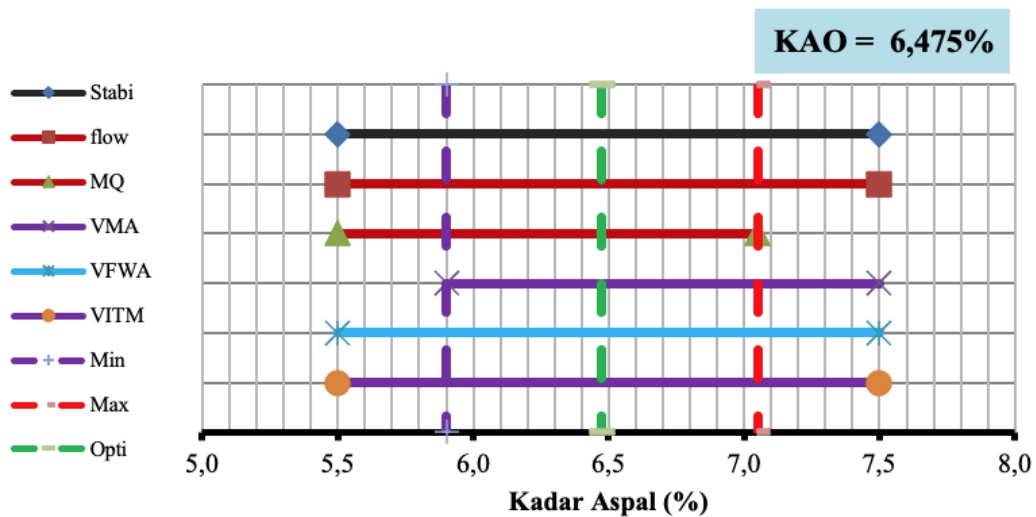
Data pengujian *Marshall* yang memenuhi seluruh kriteria parameter akan didapatkan nilai batas maksimum dan batas minimum Kadar Aspal Optimum (KAO) dan diperoleh nilai tengah yang digunakan sebagai nilai Kadar Aspal Optimum (KAO). Hasil pengujian *Marshall* dengan bahan ikat aspal Pen 60/70

untuk memperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian *Marshall* untuk Mencari KAO

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5,5	1119,42	3,2	349,26	4,93	69,77	16,31	2,19
6	1217,80	3,4	354,12	4,87	71,70	17,21	2,17
6,5	1234,15	4,2	294,30	4,83	73,37	18,12	2,16
7	1138,57	4,5	252,23	4,03	78,09	18,36	2,17
7,5	1010,38	4,6	219,55	3,39	81,95	18,77	2,17
Spesifikasi	>600	>3	>250	3-5	>68	>17	>2

Berdasarkan Tabel 5.5 diperoleh batas maksimum dan batas minimum untuk mendapatkan nilai tengah yang digunakan untuk nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dengan perhitungan secara grafis pada Gambar 5.1 berikut. Hasil pengujian ini selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran.



Gambar 5.1 Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO)

Rekapitulasi nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Nilai Kadar Aspal Optimum

Jenis Aspal	Kadar Aspal Minimum (%)	Kadar Aspal Maksimum (%)	Kadar Aspal Optimum (%)
Aspal Pertamina Pen 60/70	5,90	7,05	6,475

Penentuan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yaitu mencari nilai tengah berdasarkan batas maksimum dan batas minimum pada aspal rencana yang memenuhi persyaratan pada parameter nilai stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), kepadatan (*density*), *Voids in Mineral Aggregate (VMA)*, *Voids in Total Mix (VITM)*, *Voids Filled with Asphalt (VFWA)*, dan *Marshall Quotient (MQ)*. Pengujian ini menghasilkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6,475% terhadap berat total campuran.

5.1.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal Optimum (KAO)

Setelah menentukan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO), dihitung kebutuhan agregat pada Kadar Aspal Optimum (KAO) sebagai acuan dalam membuat 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 6,475%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persentase (%)		Berat (gram)	
(in)	(mm)	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
3,4"	20	100	100	100	0	0	0
½"	14	85	100	92,5	7,5	84,15	84,15
3/8"	10	60	90	75	25	196,35	280,50
No. 8	2,36	60	72	66	34	100,98	381,48
No. 30	0,6	25	45	35	65	347,82	729,30
No. 70	0,212	15	30	22,5	77,5	140,25	869,55
No. 200	0,075	8	12	10	90	140,25	1.009,80
Pan		0	0	0	100	112,20	1.122

5.1.5 Hasil Pengujian pada Kadar Aspal Optimum (KAO)

Pengujian ini menggunakan perbedaan metode yaitu menggunakan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap yang meliputi pengujian *Marshall Test*, *Index of Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, Indeks Durabilitas Pertama (IDP), Indeks Durabilitas Kedua (IDK), *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down*. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.8 sampai dengan Tabel 5.14. Hasil pengujian ini selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran.

Tabel 5.8 Hasil Pengujian *Marshall Test* dengan Dua Metode Pencampuran

Metode Pencampurann	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
Konvensional	1234,15	4,2	294,30	4,83	73,37	18,12	2,16
Dua Tahap	1328,52	4,6	287,57	4,35	75,44	17,71	2,17
Spesifikasi	>600	>3	>250	3-5	>68	>17	>2

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

Metode Pencampuran	Stabilitas 30 Menit (kg)	Stabilitas 24 Jam (kg)	<i>Index of Retained Strength (%)</i>
Konvensional	1234,15	1103,85	89,44
Dua Tahap	1328,52	1218,60	91,74

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Indeks Durabilitas dengan Dua Metode Pencampuran

Metode Pencampuran	Indeks Kekuatan Sisa (%)	Indeks Durabilitas Pertama (%)	Indeks Durabilitas Kedua (%)
Konvensional	89,44	0,45	5,17
Dua Tahap	91,74	0,35	4,04

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

Metode Pencampuran	<i>Indirect Tensile Strength Uncondition</i> (kg/cm ²)	<i>Indirect Tensile Strength Condition</i> (kg/cm ²)
Konvensional	19,94	16,02
Dua Tahap	21,03	17,51

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

Metode Pencampuran	<i>Tensile Strength Ratio</i> (%)
Konvensional	80,36
Dua Tahap	83,26

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

Metode Pencampuran	<i>Cantabro Loss</i> (%)
Konvensional	3,48
Dua Tahap	2,50

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

Metode Pencampuran	<i>Asphalt Flow Down</i> (%)
Konvensional	0,60
Dua Tahap	0,54

5.1.6 Hasil Analisis Statistik *T-Test*

Dari data-data pengujian *Marshall Test*, *Index of Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down* dilakukan analisis statistik *T-Test* dengan adanya pengaruh dua metode pencampuran yaitu metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap. Hasil rekapitulasi analisis *T-Test* dapat dilihat pada Tabel

5.15 dan Tabel 5.16 berikut. Hasil analisis statistik *T-Test* selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran.

Tabel 5.15 Hasil Pengujian Statistik *T-Test* pada Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik *Marshall*

Parameter	Keterangan	Hasil
Stabilitas	H0 ditolak	Signifikan
<i>Flow</i>	H0 ditolak	Signifikan
<i>Marshall Quotient</i>	H0 diterima	Tidak Signifikan
<i>VITM</i>	H0 ditolak	Signifikan
<i>VFWA</i>	H0 ditolak	Signifikan
<i>VMA</i>	H0 ditolak	Signifikan
<i>Density</i>	H0 ditolak	Signifikan

Tabel 5.16 Hasil Pengujian Statistik *T-Test* pada Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik *Index of Retained Strength (IRS)*, Indeks Durabilitas Pertama (IDP), Indeks Durabilitas Kedua (IDK), *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down (AFD)*

Parameter	Keterangan	Hasil
<i>IRS</i>	H0 ditolak	Signifikan
IDP	H0 ditolak	Signifikan
IDK	H0 ditolak	Signifikan
<i>ITS</i>	H0 diterima	Tidak Signifikan
<i>TSR</i>	H0 ditolak	Signifikan
<i>Cantabro Loss</i>	H0 ditolak	Signifikan
<i>AFD</i>	H0 diterima	Tidak Signifikan

Pada Tabel 5.15 dan Tabel 5.16 menunjukkan signifikansi perbedaan hasil pengujian pada masing-masing nilai karakteristik campuran. Terdapat juga nilai karakteristik campuran seperti nilai *Marshall Quotient*, *ITS*, dan *AFD* yang menunjukkan perbedaan hasil yang tidak signifikan perbedaannya, akan tetapi hasil nilai masing-masing campuran terdapat perbedaan nilai.

5.2 Pembahasan

5.2.1 Pembahasan Karakteristik Agregat Kasar

Pada pengujian karakteristik agregat kasar dapat diuraikan pada pembahasan sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat Kasar

Berat jenis agregat kasar adalah berat perbandingan antara berat agregat dalam keadaan jenuh dalam satuan volume terhadap berat air pada suhu tertentu. Data yang digunakan dalam perhitungan berat jenis adalah berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ), berat benda dalam air (BA), dan berat benda uji kering oven (BK). Hasil yang didapat pada pengujian berat jenis agregat kasar ini adalah sebesar 2,63 gr/cm², yang artinya telah memenuhi persyaratan SNI 1970:2008 yaitu sebesar $> 2,5$ gr/cm².

2. Penyerapan Agregat Kasar Terhadap Air

Penyerapan agregat kasar terhadap air adalah tingkat kemampuan dari agregat tersebut yang berupa rongga atau pori agregat dalam menyerap air. Hasil yang didapat pada pengujian kemampuan agregat kasar dalam menyerap air ini adalah sebesar 2,22%, yang artinya telah memenuhi persyaratan SNI 1969:2008 yaitu sebesar $< 3\%$.

3. Kelekatan Agregat Kasar Terhadap Aspal

Kelekatan agregat kasar terhadap aspal adalah besarnya persentase agregat kasar pada luas permukaan yang terlapisi aspal terhadap luas keseluruhan permukaan agregat kasar. Hasil yang didapat pada pengujian kelekatan agregat kasar terhadap aspal adalah sebesar 98%, yang artinya telah memenuhi persyaratan SNI 2439:2011 yaitu sebesar $> 95\%$.

4. Abrasi Menggunakan Mesin *Los Angeles*

Pengujian abrasi pada agregat kasar ini menggunakan mesin *Los Angeles*, yang bertujuan untuk mengetahui nilai keausan agregat terhadap abrasi yang terjadi. Perhitungan yang dilakukan dengan perbandingan antara berat bahan yang aus lolos saringan No. 12 terhadap berat mula-mula. Hasil yang didapat pada pengujian abrasi agregat kasar adalah sebesar 14,79%, yang artinya telah memenuhi persyaratan SNI 2417:2008 yaitu sebesar $< 40\%$.

Hasil pada pengujian karakteristik agregat kasar telah memenuhi spesifikasi persyaratan yang digunakan sehingga layak untuk digunakan sebagai bahan penelitian.

5.2.2 Pembahasan Karakteristik Agregat Halus

Pada pengujian karakteristik agregat halus dapat diuraikan pada pembahasan sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat Halus

Berat jenis agregat halus adalah berat perbandingan antara berat agregat dalam keadaan jenuh dalam satuan volume terhadap berat air pada suhu tertentu. Data yang digunakan dalam perhitungan berat jenis adalah berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ), berat benda dalam air (BA), dan berat benda uji kering oven (BK). Hasil yang didapat pada pengujian berat jenis agregat halus ini adalah sebesar 2,81 gr/cm², yang artinya telah memenuhi persyaratan SNI 1970:2008 yaitu sebesar $> 2,5$ gr/cm².

2. Penyerapan Agregat Halus Terhadap Air

Penyerapan agregat halus terhadap air adalah tingkat kemampuan dari agregat tersebut yang berupa rongga atau pori agregat dalam menyerap air. Hasil yang didapat pada pengujian kemampuan agregat halus dalam menyerap air ini adalah sebesar 1,31%, yang artinya telah memenuhi persyaratan SNI 1969:2008 yaitu sebesar $< 3\%$.

3. *Sand Equivalent*

Sand equivalent adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui persentase nilai kadar debu dan lumpur pada agregat halus. Nilai kadar debu dan lumpur sangat berpengaruh pada kualitas campuran. Hasil yang didapat pada pengujian *sand equivalent* ini adalah sebesar 90,61%, yang artinya agregat halus yang digunakan bersih dan terbebas dari kotoran debu dan lumpur, dan telah memenuhi persyaratan SNI 3423:2008 yaitu sebesar $> 50\%$.

Hasil pada pengujian karakteristik agregat halus telah memenuhi spesifikasi persyaratan yang digunakan sehingga layak untuk digunakan sebagai bahan penelitian.

5.2.3 Pembahasan Karakteristik *Filler*

Pada pengujian karakteristik *filler* hanya menguji berat jenis yang dimiliki oleh *filler* abu batu. Hasil pengujian dapat diuraikan pada pembahasan sebagai berikut.

1. Berat Jenis *Filler* Abu Batu

Hasil pada pengujian karakteristik *filler* telah memenuhi spesifikasi persyaratan yang digunakan yaitu agregat halus yang telah lolos saringan No. 200 sehingga layak untuk digunakan sebagai bahan penelitian.

5.2.4 Pembahasan Karakteristik Aspal

Pada pengujian karakteristik aspal digunakan aspal pertamina Pen 60/70 sebagai bahan ikat campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* menggunakan dua metode pencampuran yang berbeda. Hal ini dapat diuraikan pada pembahasan sebagai berikut.

1. Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal adalah berat perbandingan antara berat aspal dalam satuan volume terhadap volume. Hal ini berpengaruh terhadap rancangan kadar aspal yang digunakan pada campuran. Hasil yang didapat pada pengujian berat jenis aspal ini adalah sebesar 1,06 gr/cc, yang artinya telah memenuhi persyaratan SNI 2411:2011 yaitu sebesar $\geq 1,0$ gr/cc.

2. Penetrasi Aspal

Penetrasi aspal adalah tingkat nilai kekerasan pada aspal yang menunjukkan semakin kecil nilai penetrasinya maka semakin keras aspal tersebut, begitupun sebaliknya. Hasil yang didapat pada pengujian penetrasi aspal di suhu 25°C ini adalah sebesar 65,5 mm, yang artinya telah memenuhi persyaratan SNI 2456:2011 yaitu antara 60 mm sampai dengan 70 mm.

3. Daktilitas Aspal

Daktilitas aspal adalah tingkat nilai elastisitas aspal yang didapat dari jarak terpanjang aspal yang ditarik sebelum putus pada suhu 25°C. Nilai daktilitas mempengaruhi fleksibilitas campuran dalam menahan beban tanpa adanya kerusakan. Hasil yang didapat pada pengujian daktilitas aspal adalah sebesar

165 cm atau tidak putus pada saat pengujian, yang artinya telah memenuhi persyaratan SNI 2432:2011 yaitu sebesar ≥ 100 cm.

4. Titik Nyala Aspal

Titik nyala aspal adalah nilai titik nyala aspal dalam satuan temperatur yang menunjukkan batas suhu dimana aspal mulai memercikkan api dalam waktu singkat. Aspal memiliki sifat *thermoplastic* yaitu sifat fisik aspal dapat berubah-ubah tergantung perubahan suhu yang terjadi. Hasil yang didapat pada pengujian titik nyala aspal adalah sebesar 344°C , yang artinya telah memenuhi persyaratan SNI 2433:2011 yaitu sebesar $\geq 232^{\circ}\text{C}$.

5. Titik Bakar Aspal

Titik bakar aspal adalah nilai titik bakar aspal dalam satuan temperatur yang menunjukkan batas suhu dimana aspal mulai menimbulkan api yang menyala selama ± 5 detik pada permukaan aspal. Aspal memiliki sifat *thermoplastic* yaitu sifat fisik aspal dapat berubah-ubah tergantung perubahan suhu yang terjadi. Hasil yang didapat pada pengujian titik bakar aspal adalah sebesar 349°C , yang artinya telah memenuhi persyaratan SNI 2433:2011 yaitu sebesar $\geq 232^{\circ}\text{C}$.

6. Kelarutan dalam *Trichloroethylene (TCE)*

Kelarutan aspal dalam *TCE* adalah nilai persentase banyaknya aspal yang larut dalam larutan *Trichloroethylene* yang mempengaruhi kemampuan aspal dalam mengikat agregat. Hasil yang didapat pada pengujian kelarutan aspal dalam *TCE* adalah sebesar 99,7%, yang artinya telah memenuhi persyaratan AASHTO T44-14 yaitu sebesar $\geq 99\%$.

7. Titik Lembek Aspal

Titik nyala aspal adalah nilai titik lembek aspal dalam satuan temperatur yang menunjukkan batas suhu dimana aspal mulai menjadi lunak. Aspal memiliki sifat *thermoplastic* yaitu sifat fisik aspal dapat berubah-ubah tergantung perubahan suhu yang terjadi. Hasil yang didapat pada pengujian titik lembek aspal adalah sebesar 58°C , yang artinya telah memenuhi persyaratan SNI 2434:2011 yaitu sebesar $\geq 48^{\circ}\text{C}$.

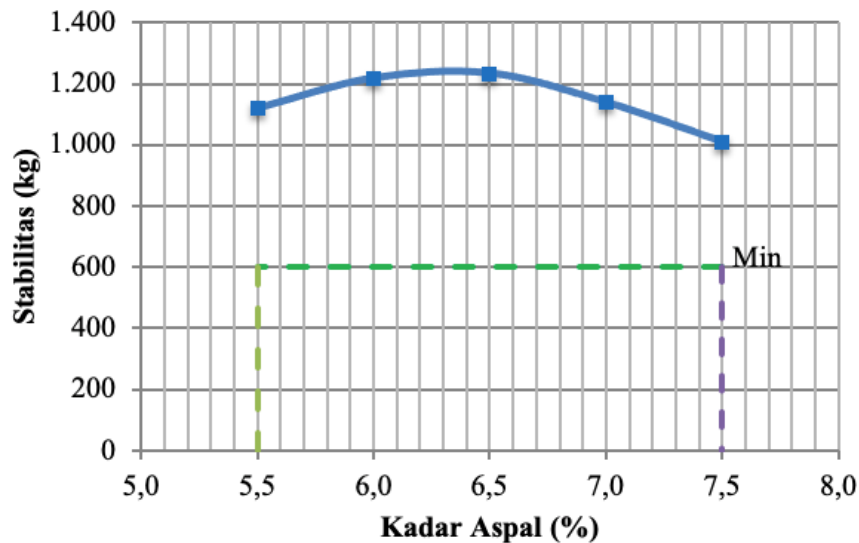
Hasil pada pengujian karakteristik aspal telah memenuhi spesifikasi persyaratan yang digunakan sehingga layak untuk digunakan sebagai bahan penelitian.

5.2.5 Pembahasan Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Untuk mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran *Hot Rolled Asphalt* digunakan pengujian karakteristik *Marshall*. Pada pengujian *Marshall* akan mendapatkan data berupa nilai-nilai karakteristik *Marshall* yaitu nilai stabilitas (*stability*) dan kelelahan (*flow*). Setelah mendapatkan hasil dari *Marshall Test* tersebut, dilakukan analisis perhitungan untuk mendapatkan nilai kepadatan (*density*), *Voids in Mineral Aggregate (VMA)*, *Voids in Total Mix (VITM)*, *Voids Filled with Asphalt (VFWA)*, dan *Marshall Quotient (MQ)*. Nilai-nilai tersebut akan menjadi dasar dalam menentukan KAO yang digunakan pada campuran *Hot Rolled Asphalt*. Pembahasan mengenai hasil pengujian karakteristik *Marshall* dalam menentukan KAO adalah sebagai berikut.

1. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Stabilitas (*Stability*)

Nilai Stabilitas digunakan untuk mengetahui kemampuan perkerasan dalam menahan beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk atau keruntuhan. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh faktor kohesi atau penetrasi, kadar aspal, gesekan antara partikel agregat dengan aspal, sifat saling mengunci (*interlocking*) antar agregat. Berikut ini adalah hasil pengujian nilai Stabilitas dapat dilihat pada Gambar 5.2.

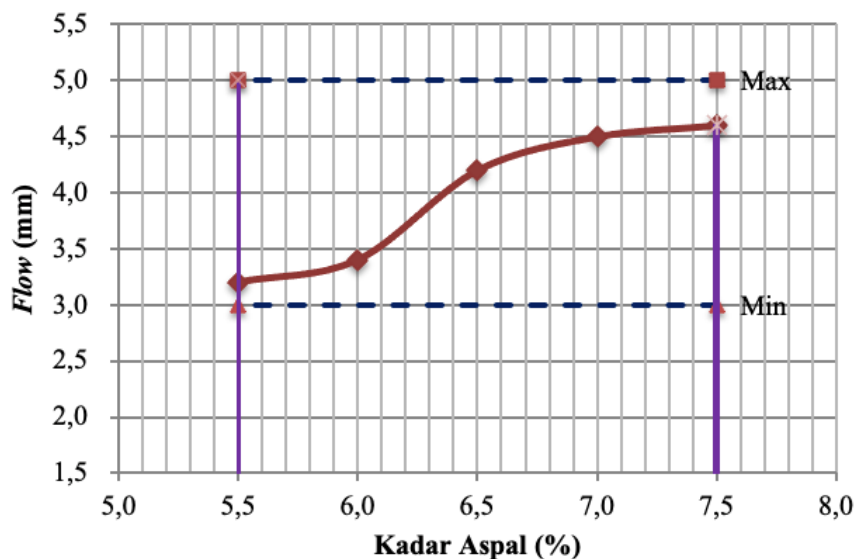


Gambar 5.2 Grafik Hubungan Antara Nilai Stabilitas dan Kadar Aspal

Berdasarkan grafik nilai stabilitas pada Gambar 5.2 dapat disimpulkan bahwa nilai akan mencapai titik maksimum, lalu akan mengalami penurunan setelahnya. Hal ini disebabkan karena penggunaan kadar aspal yang meningkat mempengaruhi kekakuan campuran, semakin banyak kadar aspal yang digunakan maka perkerasan tersebut akan menjadi semakin lunak dan akan berakibat perkerasan tersebut mengalami *rutting*. Begitupun sebaliknya, jika kadar aspal yang digunakan sedikit maka perkerasan tersebut akan memiliki sifat yang plastis dan mudah terjadinya kerusakan. Dari hasil nilai Stabilitas antar masing-masing kadar aspal telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu dengan persyaratan nilai Stabilitas > 600 .

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

Nilai *Flow* digunakan untuk mengetahui deformasi vertikal atau perubahan bentuk plastis yang terjadi pada campuran perkerasan dari awal pembebanan sampai dengan nilai stabilitas menurun. Nilai *Flow* dinyatakan dalam satuan panjang. Berikut ini adalah hasil pengujian nilai *Flow* dapat dilihat pada Gambar 5.3.



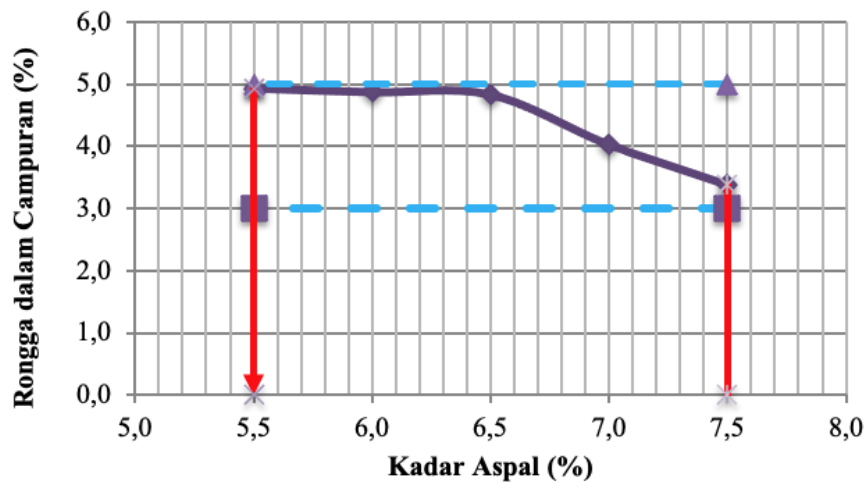
Gambar 5.3 Grafik Hubungan Antara Nilai *Flow* dan Kadar Aspal

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.3 dapat disimpulkan bahwa nilai kelelehan (*Flow*) akan meningkat seiring dengan adanya peningkatan kadar aspal. Hasil tersebut disebabkan karena campuran perkerasan yang mengalami peningkatan kadar aspal akan memiliki sifat perkerasan yang semakin lentur, kadar aspal yang meningkat akan lebih optimal dalam mengisi rongga antar partikel agregat. Dari hasil nilai *Flow* antar masing-masing kadar aspal telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu dengan persyaratan nilai *Flow* > 3 mm.

3. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *VITM* (*Void in Total Mix*)

Nilai *VITM* digunakan untuk mengetahui persentase banyaknya rongga dalam campuran perkerasan. Nilai *VITM* akan mempengaruhi keawetan pada campuran perkerasan, nilai yang digunakan berdasarkan persyaratan Bina Marga 2018 yaitu nilai antara 3 - 5%. Jika nilai *VITM* $< 3\%$ maka campuran perkerasan tersebut memiliki rongga udara yang rapat dan semakin kedap terhadap air, hal ini dapat menimbulkan terjadinya *bleeding*. Begitupun sebaliknya, nilai *VITM* $> 5\%$ maka campuran perkerasan tersebut memiliki rongga udara yang besar dan tidak kedap terhadap udara dan air, hal ini dapat menimbulkan terjadinya oksidasi antara agregat dan aspal dan mengurangi

keawetannya. Berikut ini adalah hasil pengujian nilai *VITM* dapat dilihat pada Gambar 5.4.

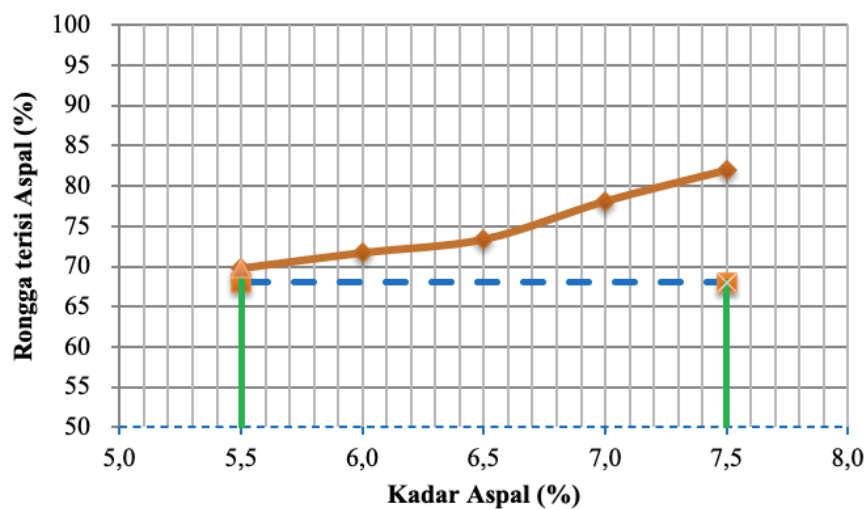


Gambar 5.4 Grafik Hubungan Antara Nilai *VITM* dan Kadar Aspal

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.4 dapat disimpulkan bahwa nilai *VITM* pada nilai kadar aspal yang bertambah akan mengalami penurunan nilai persentasenya. Hal ini diakibatkan karena rongga antar partikel agregat semakin terisi oleh aspal, sehingga rongga campuran tersebut semakin rapat dan kedap terhadap air. Dari hasil nilai *VITM* antar masing-masing kadar aspal telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu dengan persyaratan nilai *VITM* 3 - 5%.

4. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *VFWA* (*Void Filled with Asphalt*)
 Nilai *VFWA* digunakan untuk mengetahui persentase banyaknya rongga yang terisi aspal dalam campuran perkerasan. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai *VFWA* antara lain kadar aspal, gradasi agregat, energi pemadat, jumlah pemadatan, dan temperatur pemadatan. Nilai *VFWA* yang terlalu tinggi akan menyebabkan banyak rongga campuran terisi sehingga membuat campuran menjadi lentur, akan tetapi jika tidak adanya rongga tersisa maka aspal akan mudah naik kepermukaan di saat temperatur tinggi (*bleeding*). Begitupun sebaliknya, nilai *VFWA* yang terlalu rendah akan menyebabkan campuran bersifat porous atau mudah teroksidasi dikarenakan banyaknya rongga

campuran yang tidak terisi sepenuhnya dan akan berakibat kemampuan ikatan antar agregat berkurang sehingga kekuatannya menjadi rendah. Berikut ini adalah hasil pengujian nilai *VFWA* dapat dilihat pada Gambar 5.5.

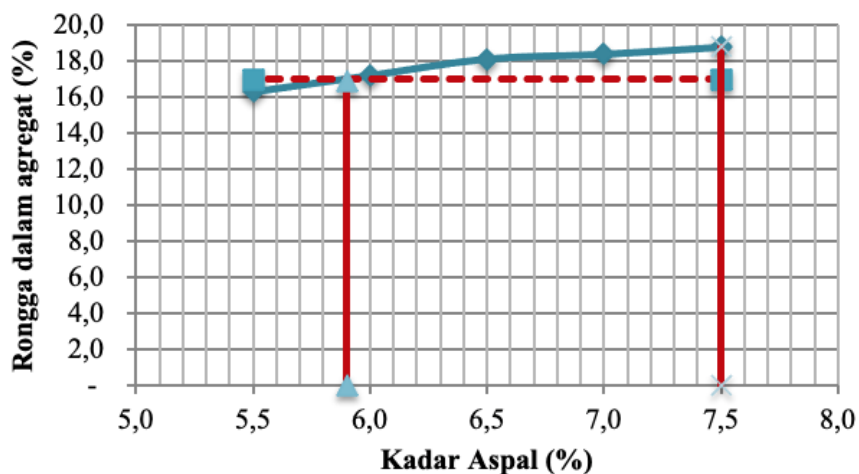


Gambar 5.5 Grafik Hubungan Antara Nilai *VFWA* dan Kadar Aspal

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.5 dapat disimpulkan bahwa nilai *VFWA* pada nilai kadar aspal yang bertambah akan mengalami kenaikan nilai persentasenya. Hal ini diakibatkan karena rongga antar partikel agregat semakin terisi oleh aspal, sehingga rongga campuran tersebut semakin rapat dan kedap terhadap air. Dari hasil nilai *VFWA* antar masing-masing kadar aspal telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu dengan persyaratan nilai *VFWA* > 68%.

- Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *VMA* (*Void in Mineral Aggregate*)
 Nilai *VMA* digunakan untuk mengetahui persentase banyaknya rongga udara antar butiran agregat aspal yang telah dipadatkan. Faktor yang mempengaruhi nilai *VMA* memiliki kesamaan dengan nilai *VFWA* antara lain kadar aspal, gradasi agregat (komposisi ukuran agregat pada campuran), energi pemadatan, temperatur pemadatan, dan jumlah tumbukan. Dengan faktor tersebut maka nilai *VMA* akan naik seiring dengan kenaikan kadar aspal yang digunakan, semakin tinggi nilai *VMA* maka campuran perkerasan tersebut

semakin kedap terhadap air dan udara. Berikut ini adalah hasil pengujian nilai *VMA* dapat dilihat pada Gambar 5.6.



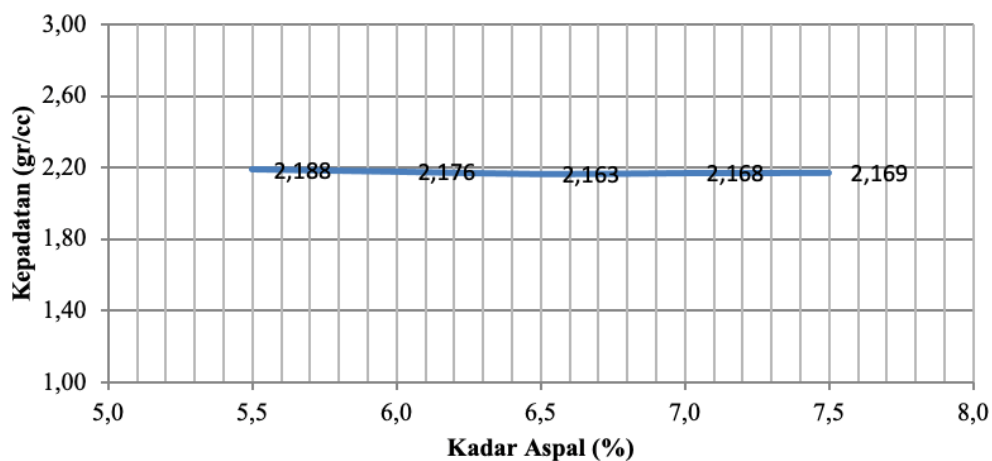
Gambar 5.6 Grafik Hubungan Antara Nilai *VMA* dan Kadar Aspal

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.6 dapat disimpulkan bahwa ada peningkatan nilai *VMA* seiring dengan adanya penambahan kadar aspal pada campuran. Hal ini diakibatkan karena rongga campuran semakin padat dan rapat, serta pengikatan agregat dengan aspal lebih baik. Pada kadar aspal 5,5% mempunyai nilai *VMA* yang tidak memenuhi persyaratan spesifikasi yaitu $< 17\%$, pada kadar aspal 5,5% persentase rongga yang cukup besar dan pengikatan aspal dengan agregat rendah sehingga nilai *VMA* tidak memenuhi spesifikasi. Hasil nilai *VMA* dari kadar aspal 6%, 6,5%, 7%, dan 7,5% telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu dengan persyaratan nilai *VMA* $> 17\%$.

6. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Kepadatan (*Density*)

Nilai *Density* digunakan untuk mengetahui kepadatan campuran perkerasan dalam satuan berat volume. Nilai *Density* dipengaruhi beberapa faktor antara lain kadar aspal dan gradasi agregat (komposisi ukuran agregat pada campuran). Seiring dengan bertambahnya kadar aspal yang digunakan, maka nilai *Density* akan semakin tinggi. Hal ini dipengaruhi oleh banyaknya rongga pada campuran yang terisi oleh aspal, sehingga campuran akan dapat

menahan beban lebih baik. Berikut ini adalah hasil pengujian nilai *Density* dapat dilihat pada Gambar 5.7.

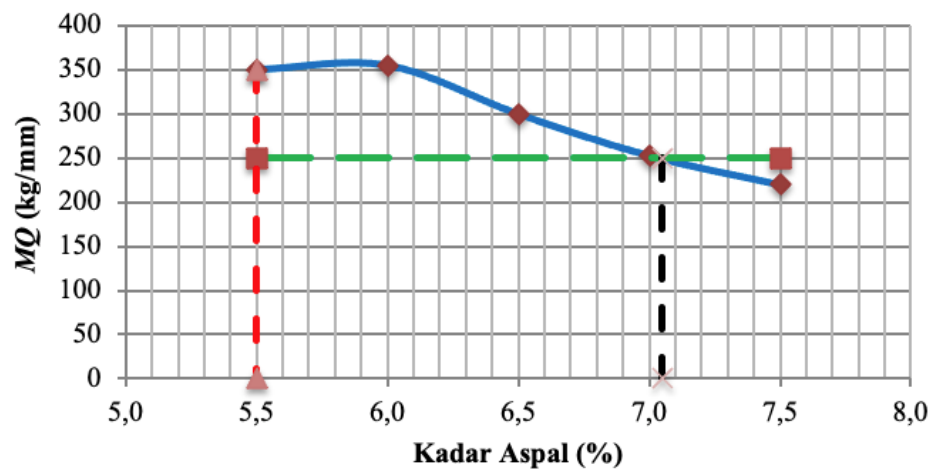


Gambar 5.7 Grafik Hubungan Antara Nilai *Density* dan Kadar Aspal

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.7 dapat disimpulkan bahwa nilai *Density* antar kadar aspal memiliki peningkatan nilai yang tidak terlalu signifikan. Dari hasil nilai *Density* antar masing-masing kadar aspal telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu > 2 gr/cc.

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

Nilai *MQ* digunakan untuk mengetahui sifat campuran perkerasan yang kaku atau lentur, didapatkan dengan hasil bagi antara nilai stabilitas dan *flow*. Semakin tinggi nilai *MQ* maka campuran tersebut memiliki sifat yang kaku, sebaliknya jika nilai *MQ* yang rendah maka campuran tersebut memiliki sifat yang semakin lentur. Berikut ini adalah hasil pengujian nilai *Marshall Quotient* dapat dilihat pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Grafik Hubungan Antara Nilai *Marshall Quotient* dan Kadar Aspal

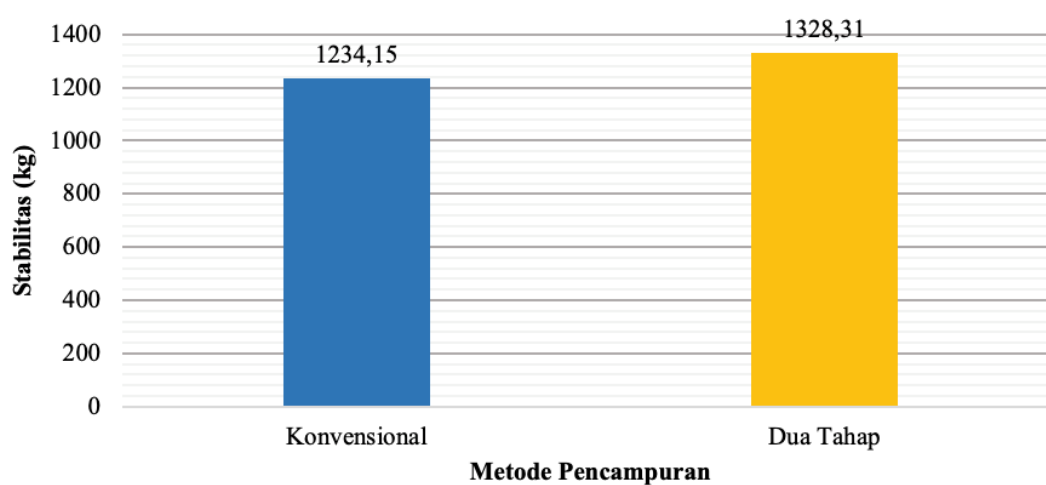
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.8 dapat disimpulkan bahwa nilai *MQ* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar aspal yang digunakan. Hal ini disebabkan karena adanya perbandingan nilai stabilitas dan *flow* yang didapatkan sebelumnya. Dengan adanya penambahan kadar aspal pada campuran akan membuat sifat campuran perkerasan tersebut semakin lentur. Dari hasil nilai *Marshall Quotient* antar masing-masing kadar aspal telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu > 250 kg/mm.

5.2.6 Pembahasan Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik *Marshall*

Berdasarkan hasil pengujian mencari Kadar Aspal Optimum (KAO) menggunakan pengujian *Marshall* didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6,475%. Setelah Kadar Aspal Optimum (KAO) didapatkan, selanjutnya dibuat sampel pengujian dengan penggunaan dua metode pencampuran yaitu metode pencampuran secara konvensional dan metode pencampuran secara dua tahap. Hasil pengujian dengan dua metode pencampuran tersebut akan menjadi pembandingan penggunaan metode yang lebih efektif dalam campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* dengan bahan ikat aspal Pen 60/70. Pembahasan mengenai hasil pengujian *Marshall* dengan dua metode pencampuran adalah sebagai berikut.

1. Analisis Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Stabilitas (*Stability*)

Dengan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diperoleh grafik yang membandingkan nilai Stabilitas antara metode pencampuran secara konvensional dan metode pencampuran secara dua tahap. Grafik perbandingan dua metode pencampuran dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.



Gambar 5.9 Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai Stabilitas

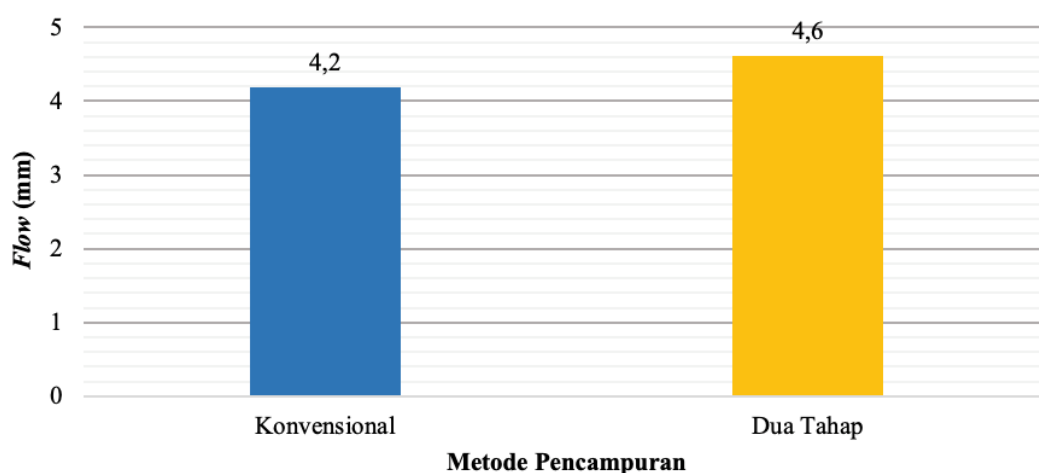
Berdasarkan grafik perbandingan pada Gambar 5.9 dapat disimpulkan bahwa nilai Stabilitas pada campuran yang menggunakan metode pencampuran secara dua tahap memiliki nilai yang lebih tinggi, perbedaan nilai Stabilitas metode pencampuran secara konvensional dan metode pencampuran secara dua tahap signifikan. Dalam penggunaan metode pencampuran secara dua tahap dapat meningkatkan nilai Stabilitas campuran, sehingga campuran tersebut memiliki durabilitas yang lebih baik dalam menerima beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi seperti gelombang, *rutting*, ataupun *bleeding* dibanding dengan penggunaan metode pencampuran secara konvensional. Hal ini diakibatkan karena dalam metode pencampuran secara dua tahap dapat memperkecil rongga antar partikel dengan adanya pengikatan

aspal terhadap agregat yang lebih baik, sehingga kinerja campuran dengan metode pencampuran dua tahap lebih baik dalam menahan beban. Kedua metode pencampuran memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu > 600 kg.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Kok dan Kologlu (2011), Kiselev dkk (2020), dan Hidayat (2021) menyatakan bahwa penggunaan metode pencampuran secara dua tahap membuat aspal dengan agregat kasar saling *interlocking* atau terikat lebih baik sehingga dapat memberikan nilai kekakuan yang lebih tinggi. Pada penelitian Wahyudi (2019) menghasilkan nilai stabilitas yang lebih tinggi pada campuran yang menggunakan variasi metode pencampuran, sehingga penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya.

2. Analisis Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Kelelehan (*Flow*)

Dengan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diperoleh grafik yang membandingkan nilai *Flow* antara metode pencampuran secara konvensional dan metode pencampuran secara dua tahap. Grafik perbandingan dua metode pencampuran dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.



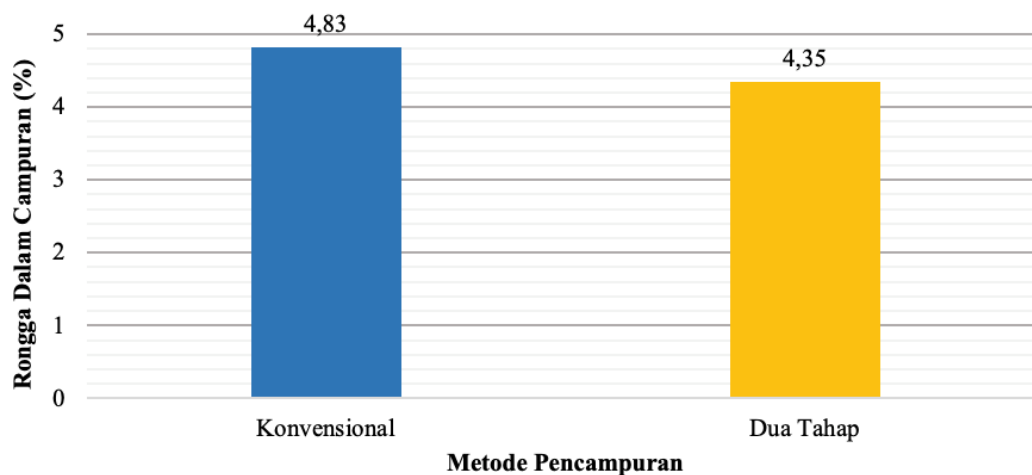
Gambar 5.10 Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai *Flow*

Berdasarkan grafik perbandingan pada Gambar 5.10 dapat disimpulkan bahwa nilai *Flow* 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 signifikan. Pada campuran yang menggunakan metode pencampuran secara dua tahap memiliki nilai *Flow* lebih tinggi sehingga campuran tersebut memiliki sifat lebih lentur, dan tidak akan mudah terjadinya deformasi plastis. Kedua metode pencampuran memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu > 3 mm.

Penelitian ini sejalan dengan Wahyudi (2019) dan Kiselev dkk (2020) yang menyatakan bahwa penggunaan modifikasi metode pencampuran dapat meningkatkan banyaknya permukaan agregat yang terselimuti aspal, sehingga pengikatan antara agregat dengan aspal menjadi lebih optimal dan meningkatkan nilai *Flow* pada campuran dan membuat campuran lebih lentur terhadap deformasi. Penelitian ini berbanding terbalik dengan penelitian yang dilakukan Kok dan Kologlu (2011) dan Hidayat (2021) yang menyatakan nilai *Flow* yang lebih rendah pada campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap, campuran tersebut akan semakin kaku karena pengaruh pencampuran dua tahap yang meningkatkan daya ikat antar aspal dan agregat.

3. Analisis Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap *VITM* (*Void in Total Mix*)

Dengan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diperoleh grafik yang membandingkan nilai *VITM* antara metode pencampuran secara konvensional dan metode pencampuran secara dua tahap. Grafik perbandingan dua metode pencampuran dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.



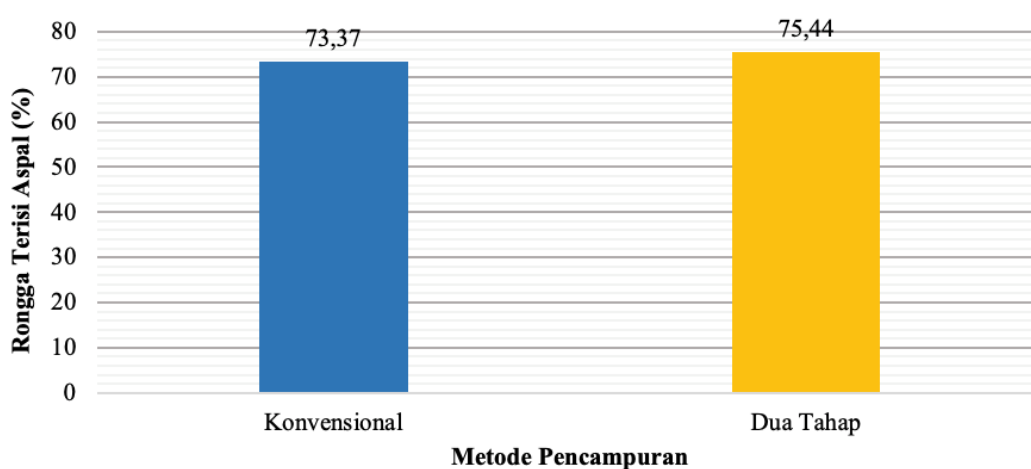
Gambar 5.11 Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai VITM

Berdasarkan grafik perbandingan pada Gambar 5.11 dapat disimpulkan bahwa nilai *VITM* 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. Penggunaan metode pencampuran secara dua tahap mempengaruhi pelapisan permukaan dan pori agregat kasar yang lebih maksimal, sehingga rongga yang tersisa pada campuran cenderung lebih sedikit. Kedua metode pencampuran memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu diantara 3 - 5%.

Pada penelitian yang dilakukan Kok dan Kologlu (2011) dan Kiselev dkk (2020) menyatakan bahwa penggunaan metode pencampuran dua tahap mampu membuat aspal lebih optimal dalam menyelimuti permukaan hingga *microvoid* agregat kasar pada pelapisan awal sehingga persentase rongga yang tersisa lebih rendah. Demikian juga penelitian yang dilakukan Wahyudi (2019) dan Hidayat (2021) yang menyatakan pengaruh metode pencampuran dua tahap mempengaruhi tebal penyelimutan aspal terhadap agregat kasar sehingga rongga-rongga kecil akan terisi secara optimal, sehingga penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya.

4. Analisis Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap *VFWA* (*Void Filled with Asphalt*)

Dengan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diperoleh grafik yang membandingkan nilai *VFWA* antara metode pencampuran secara konvensional dan metode pencampuran secara dua tahap. Grafik perbandingan dua metode pencampuran dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5.12 Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai *VFWA*

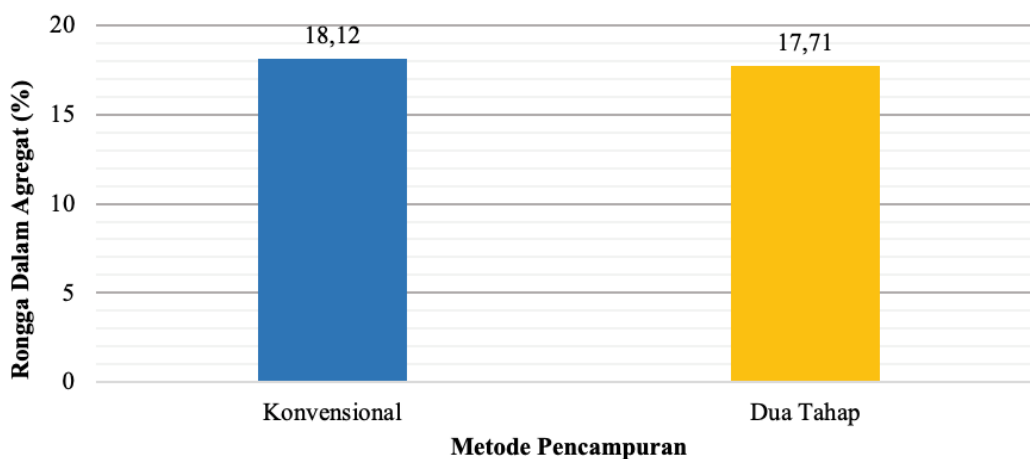
Berdasarkan grafik perbandingan pada Gambar 5.12 dapat disimpulkan bahwa nilai *VFWA* pada campuran yang menggunakan metode pencampuran secara dua tahap memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan metode pencampuran secara konvensional, perbedaan nilai antar keduanya signifikan. Penggunaan metode pencampuran secara dua tahap mempengaruhi banyaknya volume pori yang terisi oleh aspal lebih optimal dan membuat campuran lebih kedap terhadap udara dan air, sehingga campuran perkerasan tersebut lebih sulit teroksidasi. Kedua metode pencampuran memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu $> 68\%$.

Berdasarkan Penelitian yang dilakukan Kok dan Kologlu (2011), Kiselev dkk (2020) Wahyudi (2019), dan Hidayat (2021) yang menyatakan bahwa

penggunaan metode pencampuran dua tahap mampu mengurangi nilai volume pori yang terisi oleh aspal pada campuran sehingga campuran lebih kedap terhadap air dan udara.

5. Analisis Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap *VMA (Void in Mineral Aggregate)*

Dengan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diperoleh grafik yang membandingkan nilai *VMA* antara metode pencampuran secara konvensional dan metode pencampuran secara dua tahap. Grafik perbandingan dua metode pencampuran dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut.



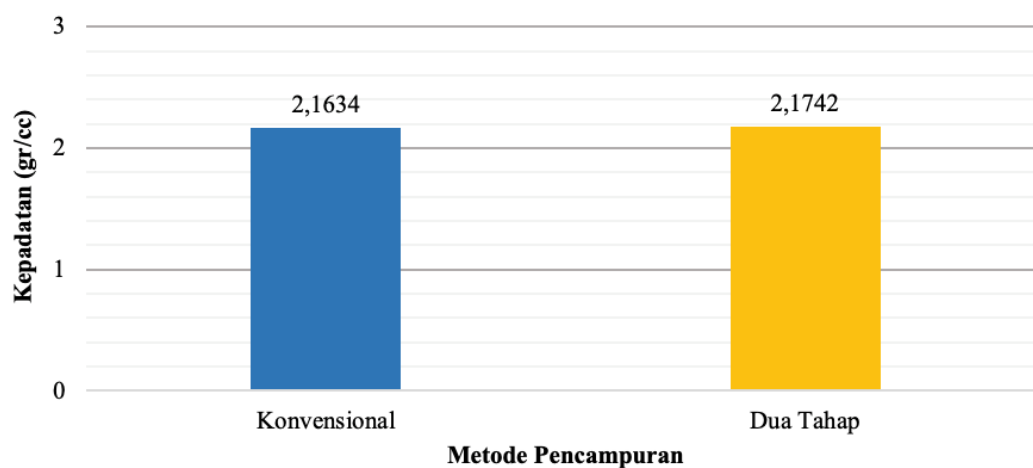
Gambar 5.13 Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai *VMA*

Berdasarkan grafik perbandingan pada Gambar 5.13 dapat disimpulkan bahwa nilai *VMA* 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. Penggunaan metode pencampuran secara dua tahap mempengaruhi rongga pada campuran yang lebih sedikit, sehingga ruang untuk menampung aspal ketika terjadinya peningkatan suhu berkurang dan membuat campuran lebih lentur. Akan tetapi, kedua metode pencampuran memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu $> 17\%$.

Pada penelitian Kok dan Kologlu (2011) dan Kiselev dkk (2020) penggunaan metode pencampuran dua tahap mengakibatkan meningkatnya ikatan adhesi campuran beraspal. Demikian juga dengan penelitian yang dilakukan Wahyudi (2019) dan Hidayat (2021) menyatakan bahwa penggunaan metode pencampuran dua tahap mengakibatkan perubahan nilai volume pori pada campuran sehingga pada ketebalan pelapisan aspal lebih banyak. Dalam penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya.

6. Analisis Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Kepadatan (*Density*)

Dengan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diperoleh grafik yang membandingkan nilai *Density* antara metode pencampuran secara konvensional dan metode pencampuran secara dua tahap. Grafik perbandingan dua metode pencampuran dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.



Gambar 5.14 Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai *Density*

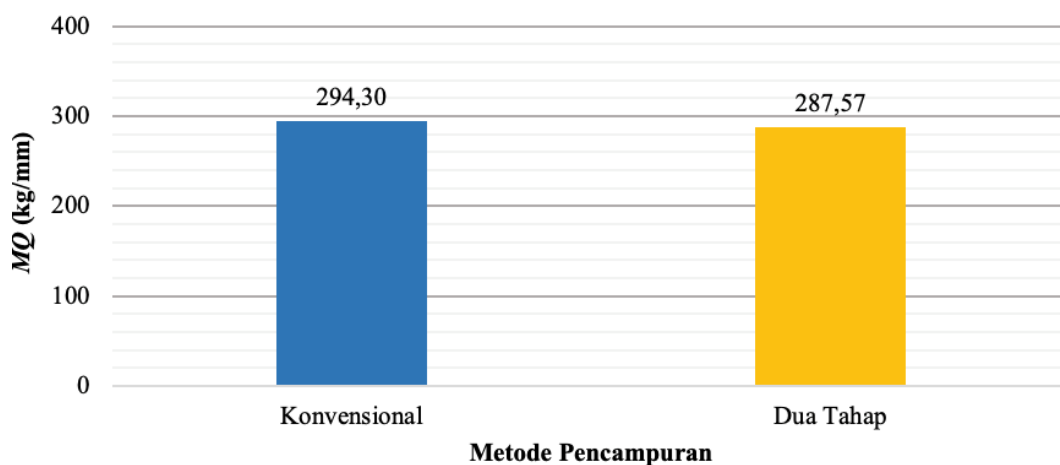
Berdasarkan grafik perbandingan pada Gambar 5.14 dapat disimpulkan bahwa nilai *Density* pada campuran yang menggunakan dua metode pencampuran memiliki nilai yang relatif sama, perbedaan nilai antar keduanya signifikan pada berat volume campuran. Hal ini dipengaruhi oleh

nilai *VITM* yang tidak terlalu besar perbedaannya, sehingga nilai kepadatan pada masing-masing campuran memiliki perbedaan yang tidak besar atau relatif sama. Kedua metode pencampuran memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu $> 2 \text{ gr/cc}$.

Penelitian ini sejalan dengan Kok dan Kologlu (2011), Wahyudi (2019), dan Hidayat (2021) yang menyatakan bahwa tidak ada pengaruh berlebih dalam nilai *Density* terhadap penggunaan metode pencampuran dua tahap sehingga kepadatan masing-masing campuran memiliki perbedaan yang relatif sama.

7. Analisis Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap *Marshall Quotient (MQ)*

Dengan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diperoleh grafik yang membandingkan nilai *MQ* antara metode pencampuran secara konvensional dan metode pencampuran secara dua tahap. Grafik perbandingan dua metode pencampuran dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.



Gambar 5.15 Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai *MQ*

Berdasarkan grafik perbandingan pada Gambar 5.15 dapat disimpulkan bahwa nilai *MQ* 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. Akan tetapi, penggunaan metode pencampuran secara dua tahap mempengaruhi nilai stabilitas dan *flow* yang tinggi, sehingga campuran memiliki sifat yang lebih lentur, tahan terhadap beban berat, dan tidak mudah mengalami deformasi plastis. Kedua metode pencampuran memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu > 250 kg/mm.

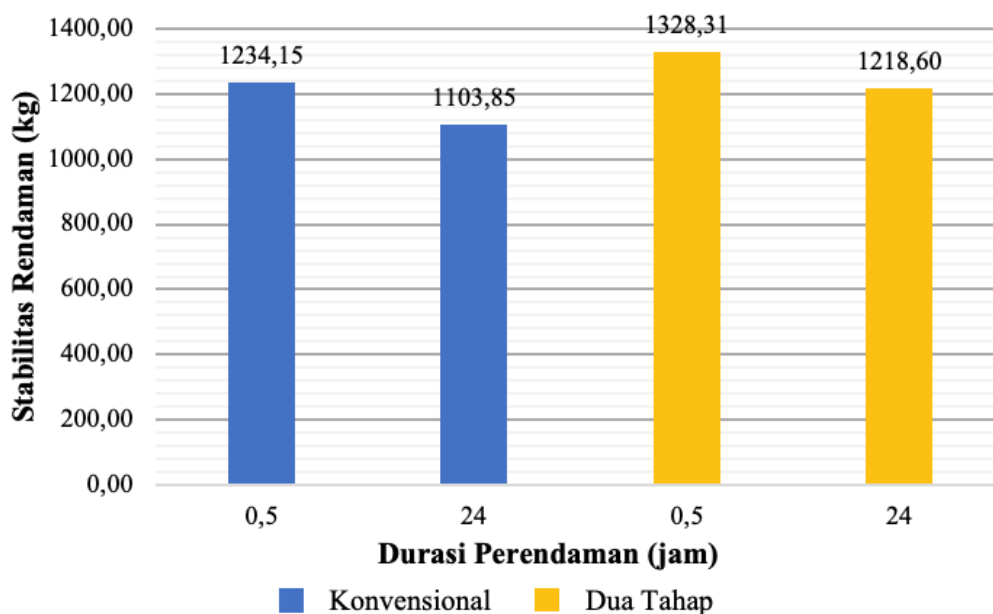
Pada Penelitian Wahyudi (2019) yang menyatakan bahwa penggunaan metode pencampuran dua tahap mampu membuat lebih lentur dalam menerima beban, sehingga sejalan dengan penelitian ini. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan Kok dan Kologlu (2011) dan Hidayat (2021) yang menghasilkan nilai *MQ* yang lebih tinggi pada campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap, karena penggunaan dua tahap membuat campuran bersifat lebih kaku dan campuran akan lebih mudah terjadinya *cracking*.

5.2.7 Pembahasan Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik *Immersion Test*

Karakteristik *Immersion Test* pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* menghasilkan nilai-nilai berikut ini.

1. Stabilitas Rendaman

Stabilitas Rendaman dilakukan untuk mengetahui perubahan karakteristik pada campuran akibat adanya perubahan suhu, cuaca, dan air. Pada proses perendaman dibedakan menjadi 2 jenis perendaman berdasarkan durasinya, yaitu perendaman di dalam *waterbath* dengan suhu 60°C selama 0,5 jam dan perendaman di dalam *waterbath* dengan suhu 60°C selama 24 jam. Grafik perbandingan nilai Stabilitas Rendaman antara dua metode pencampuran dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut.



Gambar 5.16 Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai Stabilitas *Marshall* Perendaman 0,5 jam dan 24 jam

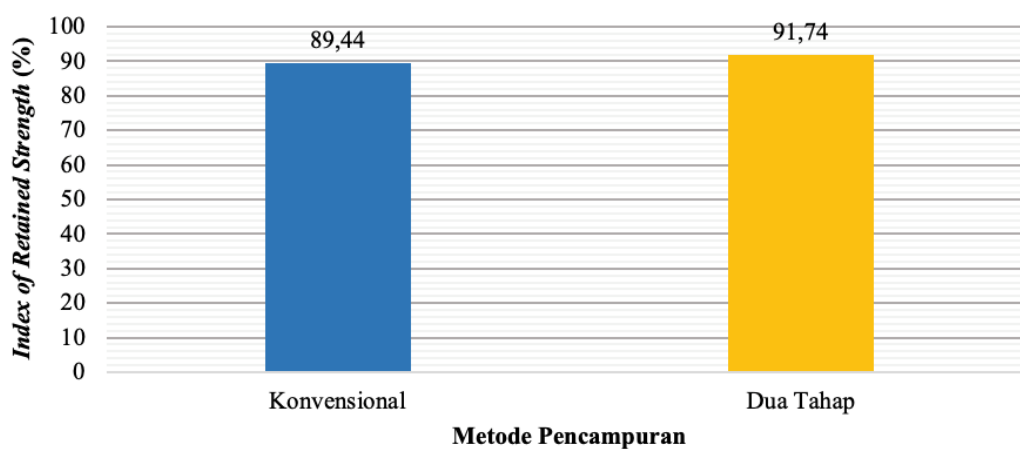
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.16 dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan besarnya nilai Stabilitas seiring dengan bertambahnya durasi perendaman, hal ini terjadi pada kedua jenis metode pencampuran. Campuran dengan rendaman di dalam *waterbath* selama 24 jam memiliki nilai lebih rendah dibandingkan dengan rendaman *waterbath* 0,5 jam. Hal ini dipengaruhi oleh terisinya pori-pori campuran oleh air yang lebih banyak daripada rendaman *waterbath* 0,5 jam sehingga akan mengurangi daya ikat antara aspal dengan agregat pada campuran. Pada campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap memiliki nilai Stabilitas Rendaman yang lebih rendah penurunannya dibandingkan dengan campuran yang menggunakan metode pencampuran konvensional. Hal ini dipengaruhi oleh pori-pori campuran yang lebih kedap air karena adanya pelapisan awal aspal terhadap agregat kasar sehingga banyak pori-pori pada campuran yang terisi oleh aspal dan selimut aspal menjadi lebih tebal, hal ini terbukti pada nilai *VFWA* pada campuran dengan metode pencampuran dua tahap yang

lebih besar dibandingkan dengan campuran yang menggunakan metode pencampuran konvensional.

Berdasarkan penelitian Wahyudi (2019) dan Hidayat (2021) yang menyatakan bahwa penggunaan metode pencampuran dua tahap mampu menghasilkan nilai Stabilitas Rendaman yang lebih baik terhadap kondisi perendaman akibat pori-pori campuran yang lebih sedikit karena banyak pori-pori yang terisi oleh aspal. Demikian juga penelitian yang dilakukan Kok dan Kologlu (2011) penggunaan metode pencampuran dua tahap menghasilkan campuran yang memiliki keawetan yang baik dan tidak mudah rusak terhadap pengaruh kelembaban. Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

2. *Index of Retained Strength (IRS)*

Nilai *Index of Retained Strength (IRS)* atau Indeks Kekuatan Sisa (IKS) digunakan untuk mengetahui keawetan campuran setelah mengalami proses perendaman pada suhu 60°C dengan durasi 0,5 jam dan 24 jam. Nilai *Index of Retained Strength (IRS)* didapatkan dari hasil perbandingan antara nilai stabilitas dengan perendaman selama 24 jam dan nilai stabilitas dengan perendaman selama 0,5 jam dalam satuan persentase. Grafik perbandingan nilai *Index of Retained Strength (IRS)* antara dua metode pencampuran dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut.



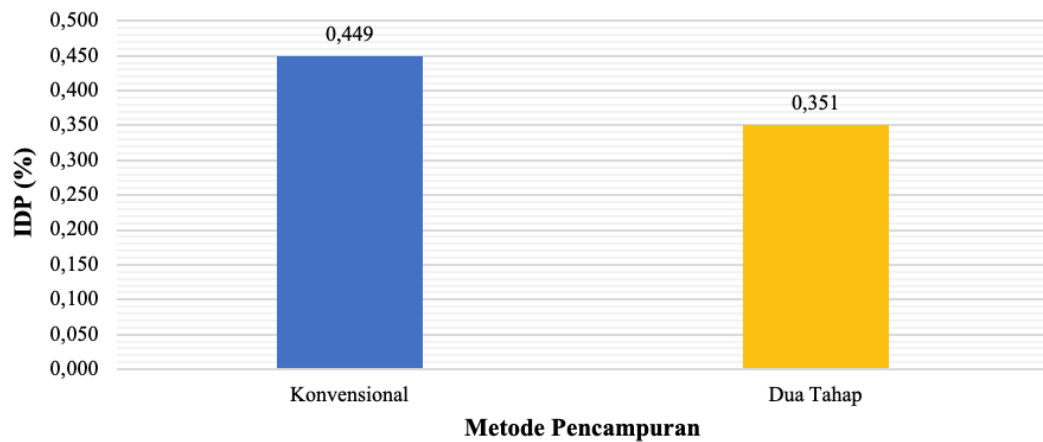
Gambar 5.17 Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai *Index of Retained Strength (IRS)*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.17 dapat disimpulkan bahwa nilai *Index of Retained Strength (IRS)* 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. Hal ini didasarkan pada nilai stabilitas rendaman pada campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap yang lebih rendah penurunannya dikarenakan pori-pori campuran yang terisi air lebih sedikit. Berdasarkan Gambar 5.11 dan Gambar 5.12 ditunjukkan nilai *VITM* pada campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap lebih sedikit dan lebih banyak pori yang terisi oleh aspal pada nilai *VFWA*, sehingga campuran dengan metode pencampuran dua tahap memiliki keawetan lebih baik terhadap cuaca daripada campuran dengan metode pencampuran konvensional. Nilai *Index of Retained Strength (IRS)* pada kedua metode pencampuran telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu $\geq 75\%$.

Penelitian ini sejalan dengan Kok dan Kologlu (2011), Wahyudi (2019), dan Hidayat (2021) yang menyatakan bahwa penggunaan metode pencampuran dua tahap mampu menghasilkan nilai *Index of Retained Strength (IRS)* yang lebih baik terhadap kondisi perendaman, sehingga metode pencampuran dua tahap dapat meningkatkan keawetan aspal terhadap pengaruh cuaca, iklim, dan perubahan suhu.

3. Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP) digunakan untuk mengetahui jumlah kelandaian yang berurut dari kurva keawetan (durabilitas) atau nilai sensitifitas penurunan nilai stabilitas pada campuran terhadap lama perendaman. Semakin kecil penurunan nilai IDP maka semakin kecil campuran kehilangan kekuatan dan semakin besar penurunan nilai IDP maka semakin besar campuran kehilangan kekuatan atau semakin sensitif terhadap perendaman air. Grafik perbandingan nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP) antara dua metode pencampuran dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut.



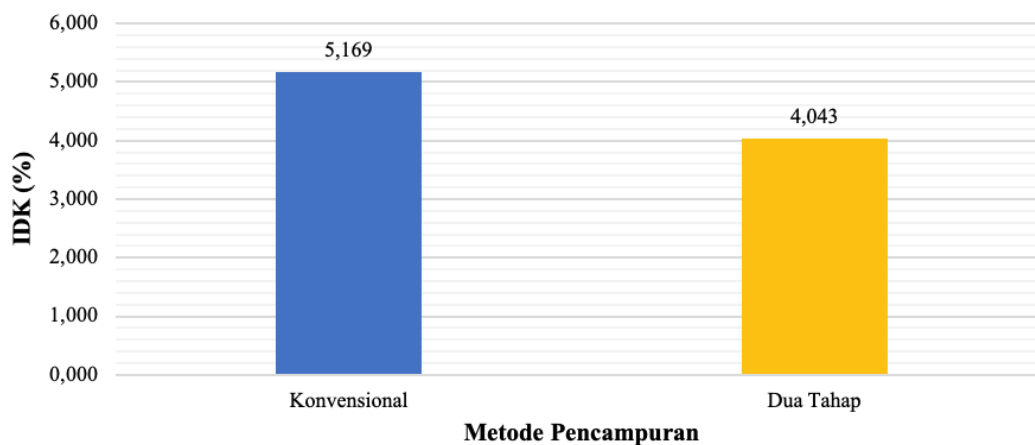
Gambar 5.18 Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.18 dapat disimpulkan bahwa 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. Nilai IDP yang kecil pada campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap menunjukkan bahwa campuran tersebut memiliki kekuatan yang lebih baik terhadap perendaman. Pada campuran yang menggunakan metode pencampuran konvensional mengalami penurunan nilai IDP yang cukup besar karena banyaknya air yang masuk ke dalam pori-pori campuran, sehingga terjadinya proses oksidasi pada campuran yang berakibat campuran akan semakin meningkat nilai kekakuannya yang menyebabkan campuran lebih mudah terjadi retak dan menurunkan sifat keawetannya. Hal ini berkaitan dengan nilai *VITM* dan nilai *VFWA* pada masing-masing campuran yang dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan Gambar 5.12, ditunjukkan nilai pori pada campuran dengan metode pencampuran dua tahap memiliki nilai pori pada campuran yang lebih kecil akibat banyaknya aspal yang mengisi pori campuran, sehingga campuran dengan metode pencampuran dua tahap lebih kedap terhadap air.

Pada penelitian sebelumnya belum dilakukan analisis Indeks Durabilitas Pertama, dengan melihat segi keawetan pada campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap memiliki durabilitas terhadap perendaman yang baik sejalan dengan penelitian yang dilakukan Kok dan Kologlu (2011), Wahyudi (2019), dan Hidayat (2021) yang menyatakan bahwa penggunaan metode pencampuran dua tahap dapat meningkatkan kinerja perkerasan terhadap pengaruh cuaca, iklim, dan perubahan suhu.

4. Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK) digunakan untuk mengetahui persentase kehilangan kekuatan rata-rata selama proses perendaman. Semakin kecil nilai IDK maka semakin kecil campuran kehilangan kekuatan dan semakin besar nilai IDK maka semakin besar campuran kehilangan kekuatan. Grafik perbandingan nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK) antara dua metode pencampuran dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut.



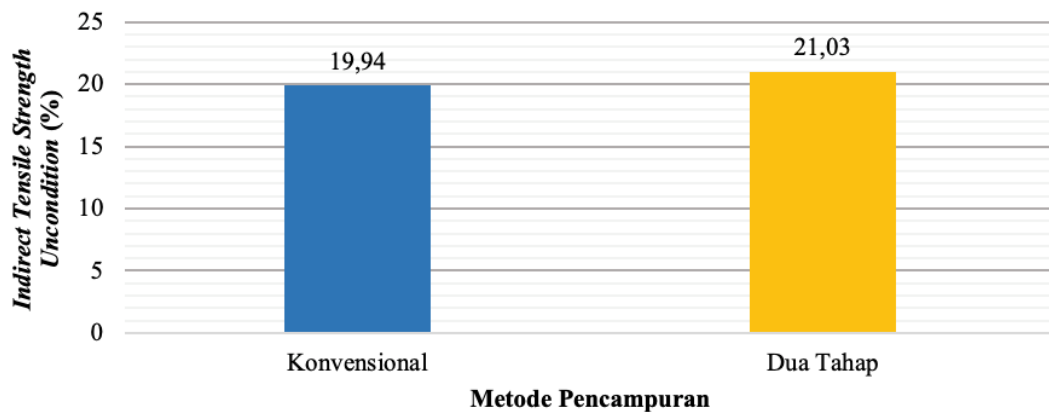
Gambar 5.19 Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.19 dapat disimpulkan bahwa 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.

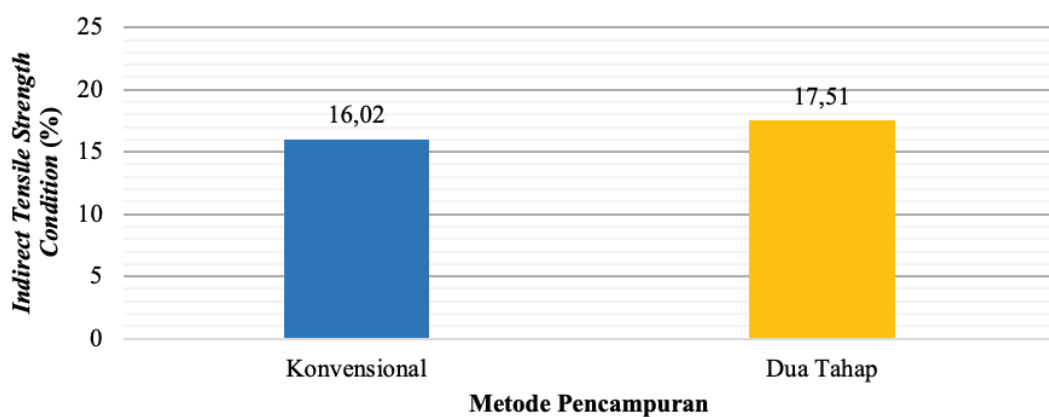
Nilai IDK yang kecil pada campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap menunjukkan bahwa campuran tersebut memiliki kekuatan yang lebih baik terhadap perendaman. Berdasarkan perbandingan hasil nilai *VITM* dan nilai *VFWA* antara kedua metode pencampuran yang dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan Gambar 5.12, pada campuran dengan metode pencampuran dua tahap memiliki jumlah pori pada campuran yang lebih kecil dibandingkan campuran dengan metode pencampuran konvensional, sehingga pori yang terisi oleh air lebih sedikit yang akan mengurangi terjadinya oksidasi pada campuran. Nilai α pada kedua campuran memiliki nilai positif yang berarti campuran mengalami kehilangan kekuatan. Analisis Indeks Durabilitas Kedua tidak dilakukan di penelitian sebelumnya, berdasarkan nilai kehilangan kekuatan campuran yang terjadi akibat perendaman sejalan dengan penelitian yang dilakukan Kok dan Kologlu (2011), Wahyudi (2019), dan Hidayat (2021) yang menyatakan bahwa penggunaan metode pencampuran dua tahap dapat meningkatkan kinerja perkerasan terhadap pengaruh cuaca, iklim, dan perubahan suhu.

5.2.8 Pembahasan Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Nilai *Indirect Tensile Strength (ITS)* digunakan untuk mengetahui nilai gaya tarik yang dapat mengevaluasi potensi retakan (*fatigue*) pada campuran aspal, yang diperoleh dari perhitungan menggunakan Persamaan 3.15 dengan satuan kg/cm². Nilai *Indirect Tensile Strength (ITS)* yang tinggi menunjukkan campuran perkerasan aspal memiliki kuat tarik yang lebih baik. Penelitian ini menggunakan dua tipe pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* antara lain *ITS uncondition* yaitu pengujian kuat tarik langsung tanpa dilakukannya perendaman pada benda uji dan *ITS condition* yaitu pengujian kuat tarik tidak langsung dengan adanya perendaman dahulu di dalam *water bath* dengan suhu air $60\pm 1^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam. Grafik perbandingan nilai *ITS uncondition* dan *ITS condition* antara dua metode pencampuran dapat dilihat pada Gambar 5.20 dan Gambar 5.21 berikut.



Gambar 5.20 Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai *ITS uncondition*



Gambar 5.21 Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai *ITS condition*

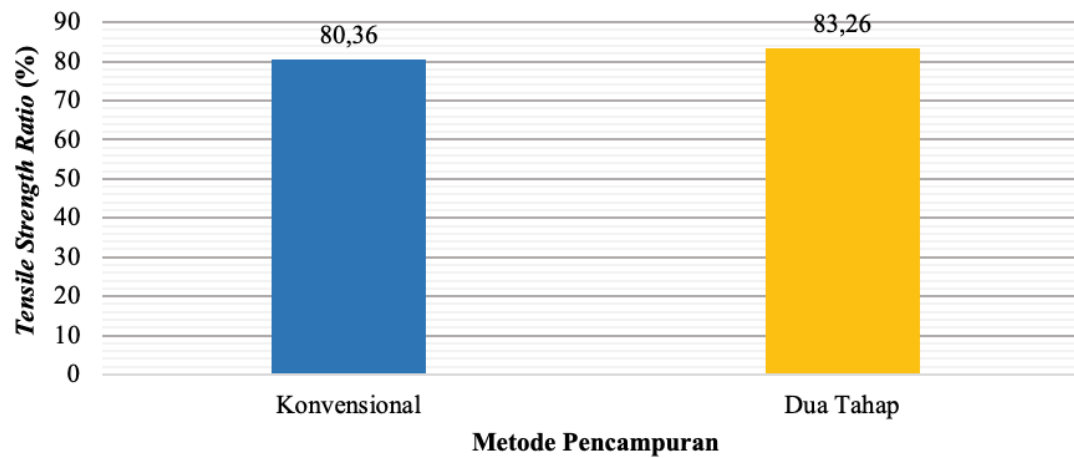
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.20 dan Gambar 5.21 dapat disimpulkan bahwa nilai *ITS condition* pada campuran lebih rendah dibandingkan dengan nilai *ITS uncondition*. Proses perendaman selama 24 jam dengan suhu 60°C di dalam *waterbath* mempengaruhi kinerja kekuatan campuran, campuran menjadi lunak seiring lamanya waktu perendaman sehingga aspal mengalami penurunan daya ikatnya, hal ini dapat terjadi kemungkinan keretakan yang tinggi pada campuran perkerasan. Perbandingan keduanya cukup signifikan berdasarkan statistik *T-Test* yang dilakukan. Perbedaan nilai juga dihasilkan pada nilai *ITS condition* dan nilai *ITS uncondition* perkerasan dengan metode pencampuran dua tahap terhadap

perkerasan dengan metode pencampuran konvensional. Pada perkerasan dengan metode pencampuran dua tahap memiliki nilai yang lebih tinggi, hal ini dipengaruhi oleh campuran perkerasan dengan metode pencampuran dua tahap yang menghasilkan nilai modulus kekakuan campuran (S_{mix}) yang lebih baik dibandingkan dengan campuran perkerasan dengan metode pencampuran konvensional, sehingga campuran perkerasan dengan metode pencampuran dua tahap lebih tahan terhadap potensi terjadinya retak (*fatigue*) akibat kegagalan gaya tarik campuran.

Berdasarkan penelitian Kok dan Kologlu (2011) dan Kiselev dkk (2020) penggunaan metode pencampuran dua tahap akan membuat kinerja campuran menahan beban tarik lebih baik sehingga campuran mampu menahan beban yang dapat mengakibatkan terjadinya retak (*fatigue*). Penelitian Wahyudi (2019) dan Hidayat (2021) juga menyatakan bahwa penggunaan metode pencampuran dua tahap mampu menghasilkan nilai *ITS* yang lebih baik terhadap kondisi campuran tanpa perendaman maupun dengan perendaman, serta dapat mengurangi terjadinya keretakan akibat beban yang diterima.

5.2.9 Pembahasan Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik *Tensile Strength Ratio (TSR)*

Nilai *Tensile Strength Ratio (TSR)* digunakan untuk mengetahui nilai gaya tarik campuran aspal yang telah direndam dengan variasi perendaman tertentu, yang diperoleh dari perhitungan menggunakan Persamaan 3.16 dengan satuan persentase perbandingan antara *ITS condition* dan *ITS uncondition*. Nilai *Tensile Strength Ratio (TSR)* harus lebih besar dari 80% sesuai dengan persyaratan Bina Marga 2018. Grafik perbandingan nilai *Tensile Strength Ratio (TSR)* antara dua metode pencampuran dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut.



Gambar 5.22 Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai *Tensile Strength Ratio* (TSR)

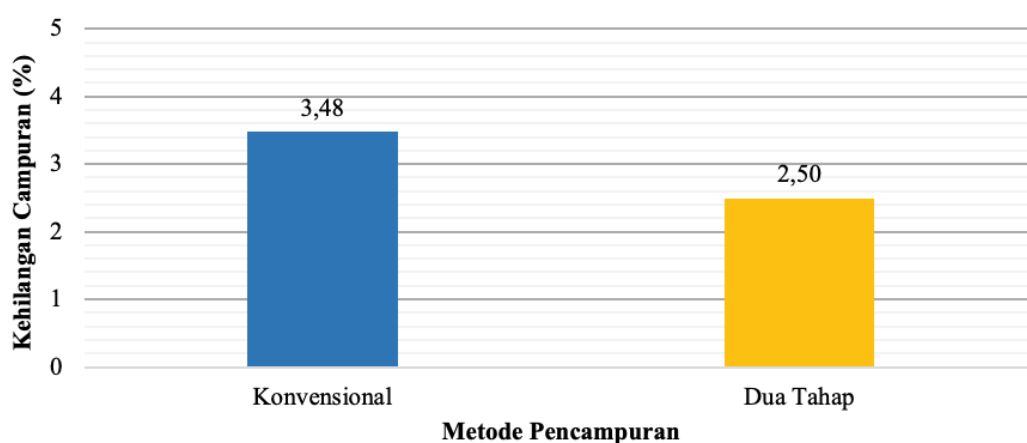
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.22 dapat disimpulkan bahwa nilai *TSR* pada campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran yang menggunakan metode pencampuran konvensional, perbedaan nilai antar keduanya signifikan. Campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap memiliki ketahanan terhadap gaya tarik lebih baik, karena pada campuran dengan metode pencampuran dua tahap memiliki pori campuran yang lebih sedikit yang dapat dilihat pada nilai *VITM* pada Gambar 5.11 yang didasarkan pada nilai *VFWA* atau banyaknya pori yang terisi oleh aspal lebih banyak yang dapat dilihat pada Gambar 5.12. Hal ini dapat mengurangi kemungkinan terjadinya retak akibat pengaruh cuaca, iklim, dan perubahan suhu. Nilai *TSR* masing-masing campuran sudah memenuhi persyaratan *Asphalt Institute* yaitu $> 80\%$.

Penelitian ini sejalan dengan Kok dan Kologlu (2011), Kiselev dkk (2020), dan Hidayat (2021) yang menyatakan bahwa penggunaan metode pencampuran dua tahap mampu menghasilkan nilai *TSR* yang lebih tinggi dibandingkan metode pencampuran konvensional yang disebabkan campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap lebih kedap terhadap air serta dapat mengurangi terjadinya keretakan akibat beban yang diterima dengan pengaruh cuaca, iklim, dan perubahan suhu. Berbanding terbalik dengan penelitian yang dilakukan Wahyudi (2019)

menghasilkan nilai *TSR* yang lebih besar pada campuran yang menggunakan metode pencampuran konvensional dibandingkan dengan metode pencampuran dua tahap.

5.2.10 Pembahasan Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik *Cantabro Loss*

Nilai *Cantabro Loss* digunakan untuk mengetahui ketahanan campuran perkerasan terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles* dengan putaran sebanyak 300 kali tanpa bola besi. Nilai *Cantabro Loss* menunjukkan besarnya batas hancurnya campuran terhadap beban roda kendaraan dan banyaknya kehilangan berat dari benda uji setelah dilakukan pengujian keausan atau abrasi. Grafik perbandingan nilai *Cantabro Loss* antara dua metode pencampuran dapat dilihat pada Gambar 5.23 berikut.



Gambar 5.23 Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai *Cantabro Loss*

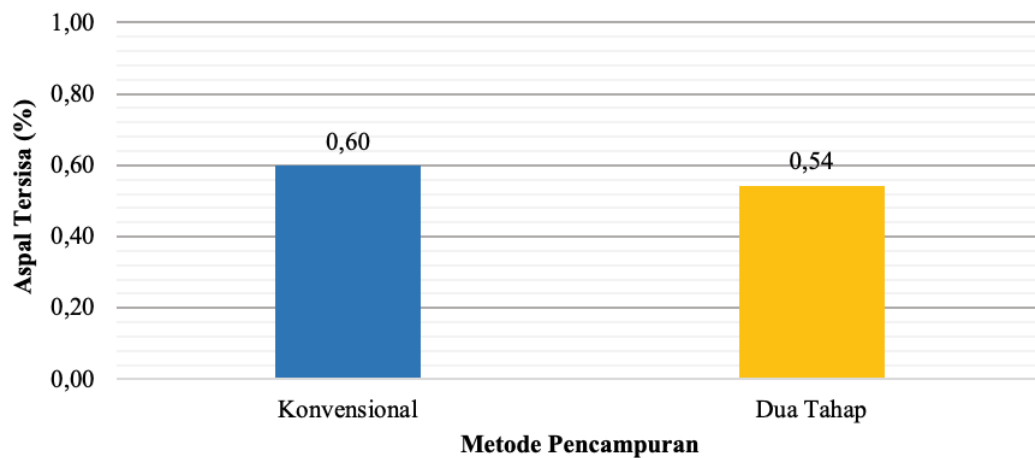
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.23 dapat disimpulkan bahwa nilai *Cantabro Loss* pada campuran yang menggunakan penggunaan metode pencampuran secara dua tahap memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan metode pencampuran secara konvensional, perbedaan nilai antar keduanya signifikan. Penggunaan metode pencampuran secara dua tahap

mempengaruhi daya ikat aspal terhadap agregat lebih baik dengan adanya pelapisan awal pada agregat kasar, sehingga pelepasan material campuran ketika menerima beban mengalami perlambatan. Kedua metode pencampuran memenuhi persyaratan nilai keausan $\leq 20\%$.

Berdasarkan penelitian Kok dan Kologlu (2011) dan Kiselev dkk (2020) metode pencampuran dua tahap mampu menghasilkan daya dukung dan daya lekat campuran yang lebih baik, sehingga campuran menghasilkan gaya *adhesi* antar agregat yang lebih baik. Menurut Hidayat (2021) penggunaan metode pencampuran dua tahap menghasilkan nilai *ITS* yang lebih baik dibandingkan metode pencampuran konvensional, yang berarti campuran dengan metode pencampuran dua tahap memiliki kemampuan daya dukung dan daya lekat yang sehingga lebih tahan terhadap abrasi. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan, berbanding terbalik dengan penelitian yang dilakukan Wahyudi (2019) penggunaan metode pencampuran dua tahap memiliki nilai *Cantabro Loss* yang rendah, sehingga tidak mampu menahan beban disintegrasi tinggi (abrasi).

5.2.11 Pembahasan Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik *Asphalt Flow Down (AFD)*

Nilai *Asphalt Flow Down* digunakan untuk mengetahui kadar aspal maksimum yang tercampur sampai *homogen* dengan agregat tanpa adanya pemisahan aspal. Pengujian ini merupakan sebuah analisis rencana untuk mengetahui tidak terjadinya pemisahan aspal selama pengangkutan dari *Asphalt Mixing Plant (AMP)* ke lokasi penghamparan. Grafik perbandingan nilai *Asphalt Flow Down* antara dua metode pencampuran dilihat pada Gambar 5.24 berikut.



Gambar 5.24 Grafik Perbandingan Dua Metode Pencampuran Terhadap Nilai *Asphalt Flow Down* (AFD)

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.24 dapat disimpulkan bahwa nilai *Asphalt Flow Down* 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. Penggunaan metode pencampuran secara konvensional maupun secara dua tahap tidak ada pengaruhnya pada kedua campuran, karena penggunaan aspal pada pengujian tidak berbeda yaitu sama-sama menggunakan bahan ikat aspal Pen 60/70.

Pengujian *Asphalt Flow Down* tidak dilakukan dalam penelitian Kok dan Kologlu (2011), Wahyudi (2019), Kiselev dkk (2020), dan Hidayat (2021) sehingga perujukan penelitian berdasarkan *homogeneity* campuran dengan metode pencampuran dua tahap yang lebih baik sama seperti penelitian sebelumnya, pelapisan aspal terhadap agregat yang cukup tebal tidak mempengaruhi daya lekat campuran dan tetap kuat.

5.3 Rekapitulasi Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik Campuran *Hot Rolled Asphalt* (HRA)

Secara rinci hasil pengujian pengaruh metode pencampuran dua tahap terhadap kinerja perkerasan campuran *Hot Rolled Asphalt* (HRA) dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut.

Tabel 5.17 Rekapitulasi Perbandingan Kinerja Perkerasan Campuran *HRA* Terhadap Dua Metode Pencampuran

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, perbedaan nilai Stabilitas metode pencampuran secara konvensional dan metode pencampuran secara dua tahap signifikan.
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, perbedaan nilai antar keduanya signifikan.
3	<i>VITM</i>	√	×	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.
4	<i>VFWA</i>	×	√	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 signifikan.
5	<i>VMA</i>	√	×	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.
6	<i>Density</i>	×	√	Nilai <i>Density</i> pada campuran yang menggunakan dua metode pencampuran memiliki nilai yang relatif sama, perbedaan nilai antar keduanya signifikan pada berat volume campuran.
7	<i>MQ</i>	√	×	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	<i>IRS</i>	×	√	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.

**Lanjutan Tabel 5.17 Rekapitulasi Perbandingan Kinerja Perkerasan
Campuran *HRA* Terhadap Dua Metode Pencampuran**

No.	Pengujian	Metode Pencampuran		Keterangan
		Konvensional	Dua Tahap	
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.
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.
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.
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, perbedaan nilai antar keduanya signifikan.
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, perbedaan nilai antar keduanya signifikan.
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 perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap kinerja *Hot Rolled Asphalt (HRA)* dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Hasil pengujian karakteristik *Marshall* terhadap penggunaan metode pencampuran dua tahap memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional. Hal ini ditunjukkan dengan nilai Stabilitas, *Flow*, *VMA*, dan *Density* yang lebih besar pada campuran menggunakan metode pencampuran dua tahap, sedangkan nilai *MQ*, *VITM*, dan *VFWA* lebih kecil dibandingkan dengan campuran menggunakan metode pencampuran konvensional. Pada metode pencampuran dua tahap aspal menyelimuti agregat lebih optimal dengan adanya penyelimutan awal pada agregat kasar, sehingga campuran dengan metode pencampuran dua tahap lebih baik daya rekatnya, memiliki sifat elastis, dan tahan terhadap deformasi plastis.
2. Campuran aspal menggunakan metode pencampuran dua tahap menghasilkan nilai *Index of Retained Strength (IRS)* yang lebih tinggi dibandingkan campuran menggunakan metode pencampuran konvensional, perbedaan nilainya signifikan. Hal ini didasarkan pada nilai stabilitas rendaman pada campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap yang lebih rendah penurunannya dikarenakan pori-pori campuran yang terisi air lebih sedikit, sehingga campuran dengan metode pencampuran dua tahap memiliki keawetan lebih baik terhadap cuaca daripada campuran dengan metode pencampuran konvensional.

3. Perbandingan campuran dengan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran konvensional terhadap indeks durabilitas (*durability*) ditunjukkan pada hasil nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP) dan Indeks Durabilitas Kedua (IDK). Pada penggunaan metode pencampuran dua tahap menghasilkan nilai IDP dan IDK dengan penurunan yang lebih kecil, sehingga campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap memiliki ketahanan yang baik dan lebih kecil terjadinya kehilangan kekuatan terhadap perendaman. Hal ini didasarkan pada proses pencampuran dua tahap membuat campuran lebih baik daya ikat antar aspal dan agregat dan banyaknya pori yang terisi aspal, sehingga campuran lebih kedap terhadap air.
4. Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* dilakukan dua pengujian dengan dilakukan pengujian tanpa perendaman dan dengan perendaman. Hasil dari pengujian yaitu nilai *ITS uncondition* dan *ITS condition*, pada penggunaan metode pencampuran dua tahap ataupun metode pencampuran konvensional memiliki nilai *ITS condition* yang lebih kecil dibandingkan nilai *ITS uncondition*, hal ini dipengaruhi oleh adanya durasi perendaman. Nilai *ITS uncondition* dan *ITS condition* pada campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap lebih tinggi dibandingkan metode pencampuran konvensional, perbedaan keduanya dipengaruhi karena campuran dengan metode pencampuran dua tahap menghasilkan nilai modulus kekakuan campuran (S_{mix}) yang lebih baik dibandingkan dengan campuran perkerasan dengan metode pencampuran konvensional, sehingga campuran perkerasan dengan metode pencampuran dua tahap lebih tahan terhadap potensi terjadinya retak (*fatigue*) akibat kegagalan gaya tarik campuran.
5. Nilai *Tensile Strength Ratio (TSR)* terhadap campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap memiliki nilai signifikan lebih tinggi dibandingkan metode pencampuran konvensional. Nilai kuat tarik dengan adanya perendaman pada campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap memiliki ketahanan yang baik, dikarenakan adanya pelapisan awal aspal terhadap agregat sehingga campuran lebih homogen dan

kedap air. Pada campuran yang menggunakan metode pencampuran konvensional memiliki rongga yang lebih terbuka, sehingga menyebabkan campuran mudah terisi oleh air dan lebih mudah terjadinya oksidasi.

6. Hasil pengujian *Cantabro Loss* pada campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap dan metode pencampuran konvensional memiliki hasil perbedaan yang signifikan. Nilai *Cantabro Loss* pada campuran dengan metode pencampuran dua tahap lebih kecil dibandingkan metode pencampuran konvensional, hal ini dikarenakan penggunaan metode pencampuran secara dua tahap mempengaruhi daya ikat aspal terhadap agregat lebih baik dengan adanya pelapisan awal pada agregat kasar, sehingga pelepasan material campuran ketika menerima beban mengalami perlambatan.
7. Perbandingan nilai *Asphalt Flow Down (AFD)* pada campuran menggunakan kedua metode memiliki nilai yang relatif sama. Hal ini dipengaruhi oleh penggunaan bahan ikat yang sama, akan tetapi nilai *AFD* pada campuran yang menggunakan metode pencampuran dua tahap lebih kecil pelepasan aspal yang terjadi, karena aspal yang melekat pada agregat lebih banyak dibandingkan dengan campuran yang menggunakan metode pencampuran konvensional.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap kinerja *Hot Rolled Asphalt (HRA)* dengan bahan ikat aspal Pen 60/70, maka penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Pelaksanaan perkerasan campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* disarankan untuk menggunakan metode pencampuran secara dua tahap, karena penggunaan metode pencampuran dua tahap menghasilkan campuran yang lebih baik dalam hal kekuatan, ketahanan, dan keawetan walaupun adanya perendaman. Campuran dengan metode pencampuran dua tahap juga memiliki sifat yang lebih lentur untuk menahan beban lalu lintas dan kedap

terhadap air, sehingga dapat mengurangi kemungkinan terjadinya deformasi plastis.

2. Perlu dilakukan pengujian Permeabilitas campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* yang menggunakan metode pencampuran dua tahap untuk mengetahui banyaknya rongga yang dapat dilalui air sehingga didapatkan nilai kekedapan campuran beton aspal.
3. Perlu adanya variasi durasi perendaman untuk mengetahui lebih dalam pengaruh durasi perendaman terhadap nilai *IRS*, *IDP*, *IDK*, dan *TSR* pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* yang menggunakan metode pencampuran dua tahap.
4. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan penggunaan bahan ikat dan bahan tambah yang lain untuk digunakan sebagai pembanding pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* yang menggunakan metode pencampuran dua tahap.
5. Penggunaan campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* yang menggunakan metode pencampuran dua tahap disarankan untuk digunakan pada daerah dengan kondisi lalu lintas yang sedang dan cuaca yang tidak menentu, karena campuran perkerasan ini memiliki sifat yang lentur dan keawetan yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, 1986. “*Guide Ford Design of Pavement Structures.*” *American Association of State Highway and Transportation Officials*. Washington. D.C.
- Anonim, 1992. *British Standard (BS). 594: Hot Rolled Asphalt for Roads and Other Paved Areas, Part I: Specification for Constituent Material Mixtures*. 2nd Edition. British Standard Institution. London.
- Anonim, 1992. *British Standard (BS). 594: Hot Rolled Asphalt for Roads and Other Paved Areas, Part II: Specification for The Transport, Laying and Compaction Rolled Asphalt*. 2nd Edition. British Standard Institution. London.
- American Standar Testing and Material*. 1969. D.1075-54 1969. Metode Pengujian Aspal. Jakarta.
- American Society for Testing and Materials*. (2015). *ASTM C-131 Standard test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. West Conshohocken: *ASTM International*.
- Auliani, N. 2018. Pengaruh Penambahan Serat *Polypropylene (PP)* pada Campuran *HRS-WC* Terhadap Karakteristik *Marshall. Indirect Tensile Strength (ITS)*. dan Ketahanan Aus. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum. 1989. “*Tata Cara Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Lataston)*”. SNI 03-1737-1989. Jakarta.
- Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum. 1990. “*Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat halus dan Kasar*”. SNI 03-1968-1990. Jakarta.
- Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum. 1991. “*Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall*”. SNI 06-2489-1991. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. “*Cara Uji Berat jenis dan Penyerapan Agregat Kasar*”. SNI 1969:2008. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. “*Cara Uji Berat jenis dan Penyerapan Agregat Halus*”. SNI 1970:2008. Jakarta.

- Badan Standarisasi Nasional. 2011. “*Cara Uji Daktilitas Aspal*”. SNI 2432:2011. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. “*Cara Uji Penetrasi Aspal*”. SNI 2456:2011. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. “*Cara Uji Titik Lembek Aspal dengan Alat Cincin dan Bola (Ring and Ball)*”. SNI 2434:2011. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. “*Cara Uji Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal dengan Alat Cleveland Open Cup*”. SNI 2433:2011. Jakarta.
- Birgisson, B., Hasemi, E., Kringos, N. 2015. Effect of mixing sequence on the workability and performance of asphalt mixtures. *Journal Road Materials and Pavement Design Vol. 16*. University of Nebraska. Lincoln.
- Birgisson, B., Hasemi, E., Bidewell, N., and Kringos, N. 2013. Evaluation of Environmental Susceptibility of Bituminous Mastic Viscosity as a Function of Material and Biomass Fillers. *Journal of the Transportation Board*. National Academies. Washington. D.C.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2018. *Spesifikasi Umum*. Edisi 2018 (Rev. 2). Penerbit Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- 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*. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- 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., and Kologlu, N. 2011. *Effect of Two-Phase Mixing Methods on Mechanical Properties of Hot Mix Asphalt*. *Journal Road Materials and Pavements Design*. 12:4, 721-738. Civil Engineering Department Elazig. Firat University. Turkey.
- Nugroho, A. 2018. Perbandingan Karakteristik Campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* Berbahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E-55 dengan Substitusi *Filler* Abu Ampas Tebu. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Pratama, B.A. 2017. Perbandingan Kinerja Campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Aspal Retona *Blend 55* dengan

- Variasi Durasi Rendaman Air Laut. *Jurnal Teknisia*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Putrowijoyo, R. 2006. *Kajian Laboratorium Sifat Marshall dan Durabilitas Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) dengan Membandingkan Penggunaan Semen Portland dan Abu Batu Sebagai Filler*. Semarang.
- Subarkah, 2015. *Modul Praktikum Bahan Perkerasan Jalan*. Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Sukirman, S. 1992. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Penerbit Nova. Bandung.
- Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Yayasan Obor Indonesia. Jakarta.
- Sunarjono, S. dan Samantha, R. 2012. Analisis Kekuatan Tarik Material Campuran SMA (*Split Mastic Asphalt*) Grading 0/11 Menggunakan Sistem Pengujian *Indirect Tensile Strength*. *Seminar Nasional Teknik Sipil UMS*. Surakarta.
- Wahyudi, A.T. 2019. Pengaruh Berbagai Metode Pencampuran Terhadap Karakteristik Campuran *Superpave* dan Aspal Porus (*The Effect of Various Mixing Methods on Superpave Pavement and Porous Pavement*). *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

LAMPIRAN



Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70

LAMPIRAN 1 PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL PEN 60/70

Material : Aspal Pertamina 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)	2,00	2,24
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,08	1,04
10	Rata-Rata Berat Jenis Aspal	1,058	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

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

Peneliti

Maulana Firdaus
NIM: 17 511 206

Lampiran 2 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70

LAMPIRAN 2 PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL PEN 60/70

Material : Aspal Pertamina 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	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 Pemanasan (detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji 1	Benda Uji 2	1	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,
Ka. Lab. Jalan Raya



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

Peneliti



Maulana Firdaus
NIM: 17 511 206

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

**LAMPIRAN 3 PEMERIKSAAN TITIK NYALA & TITIK BAKAR
ASPAL PEN 60/70**

Material : Aspal Pertamina 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.	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar
1	Benda Uji 1	344	349

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



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

Peneliti



Maulana Firdaus
NIM: 17 511 206

Lampiran 4 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70

LAMPIRAN 4 PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL PEN 60/70



Material : Aspal Pertamina 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	
	(mm)	(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,
Ka. Lab. Jalan Raya



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

Peneliti



Maulana Firdaus
NIM: 17 511 206

Lampiran 5 Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam TCE

LAMPIRAN 5 PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM TCE

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2022

No.	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan	
			Waktu	Suhu
1	Penimbangan	Mulai	14.30	27°C
2	Pelarutan	Mulai	14.40	27°C
3	Penyaringan	Mulai	14.45	27°C
		Selesai	15.15	27°C
4	Dioven	Mulai	15.15	110°C
5	Penimbangan	Mulai	15.30	27°C

HASIL PENGAMATAN

No.	Pemeriksaan	Benda Uji	
		1	2
1	Berat Erlen Meyer Kosong (gr)	63,57	63,59
2	Berat Erlen Meyer Kosong + Aspal (gr)	65,02	65,44
3	Berat Aspal (2-1) (gr)	1,45	1,85
4	Berat Kertas Saring Bersih (gr)	0,58	0,57
5	Berat Kertas Saring Bersih + Mineral (gr)	0,59	0,57
6	Berat Mineral (5-4) (gr)	0,01	0
7	Persentase Mineral (6/3x100%) (%)	0,69	0
8	Aspal yang Larut (100%-7) (%)	99,31	100
9	Rata-Rata Aspal yang Larut (%)	99,66	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



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

Peneliti



Maulana Firdaus
NIM: 17 511 206



Lampiran 6 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70

LAMPIRAN 6 PEMERIKSAAN DAKTILITAS ASPAL PEN 60/70

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2022

No.	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan Benda Uji	Aspal dipanaskan	15 menit	Suhu pemanas $\pm 135^{\circ}\text{C}$
2	Mendinginkan Benda Uji	Diamkan pada suhu ruang	60 menit	Suhu ruang $\pm 27^{\circ}\text{C}$
3	Perendaman Benda Uji	Direndam dalam <i>waterbath</i> dengan suhu 25°C	60 menit	Suhu <i>waterbath</i> $\pm 27^{\circ}\text{C}$
4	Pemeriksaan	Pengujian pada suhu 25°C	20 menit	Suhu alat $\pm 25^{\circ}\text{C}$

HASIL PENGAMATAN

No.	Benda Uji	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	165	Tidak Putus
2	Sampel 2	165	Tidak Putus

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

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

Peneliti

Maulana Firdaus
NIM: 17 511 206

Lampiran 7 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

LAMPIRAN 7 PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

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

No.	Keterangan	Benda Uji (gr)		Rata-Rata
		1	2	
1	Berat Benda Uji dalam Keadaan Basah Jenuh (BJ)	1630,47	1632,58	1631,53
2	Berat Benda Uji dalam Air (BA)	1005,98	1007,86	1006,92
3	Berat Benda Uji Kering Oven (BK)	1595,70	1596,57	1596,14
4	Berat Jenis (Bulk) = $BK/(BJ-BA)$	2,56	2,56	2,56
5	Berat Jenis (SSD) = $BJ/(BJ-BA)$	2,61	2,61	2,61
6	Berat Jenis (Semu) = $BK/(BK-BA)$	2,71	2,71	2,71
7	Penyerapan Air = $(BJ-BK)/BK \times 100\%$	2,18	2,26	2,22
8	Berat Cawan	329,45	336,70	
9	Berat Jenis Efektif = $(BJ \text{ Bulk} + BJ \text{ Semu})/2$	2,63	2,63	
10	Berat Jenis Efektif Rata-Rata	2,63		

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



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

Peneliti



Maulana Firdaus
NIM: 17 511 206



Lampiran 8 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

LAMPIRAN 8 PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

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

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	Sampel 1	98%	Memenuhi
2	Sampel 2	98%	Memenuhi

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

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

Peneliti

Maulana Firdaus
NIM: 17 511 206

Lampiran 9 Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin *Los Angeles*

**LAMPIRAN 9 PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT DENGAN
MESIN *LOS ANGELES***

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

No.	Jenis Gradasi		F	
	Saringan		Benda Uji (gram)	
	Lolos	Saringan	I (500 putaran)	II (100 Putaran)
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 (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 x 100		23,82%	5,75%
RATA-RATA			14,79%	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



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

Peneliti



Maulana Firdaus
NIM: 17 511 206

Lampiran 10 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

LAMPIRAN 10 PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

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

No.	Keterangan	Benda Uji (gr)		Rata-Rata
		1	2	
1	Berat Benda Uji dalam Keadaan Basah Jenuh (BJ)	501,86	501,06	501,46
2	Berat Vicnometer + Air (B)	692,34	668,42	680,38
3	Berat Vicnometer + Air + Benda Uji (BT)	1015,27	988,03	1001,65
4	Berat Benda Uji Kering Oven (BK)	494,55	492,57	493,56
5	Berat Jenis (Bulk) = $(BK / ((B+500) - BT))$	2,79	2,73	2,76
6	Berat Jenis (SSD) = $(500 / ((B+500) - BT))$	2,82	2,77	2,80
7	Berat Jenis (Semu) = $(BK / ((B+BK) - BT))$	2,88	2,85	2,86
8	Penyerapan Air = $(500 - BK) / BK \times 100\%$	1,10	1,51	1,31
9	Berat Jenis Efektif = $(BJ \text{ Bulk} + BJ \text{ Semu}) / 2$	2,84	2,79	
10	Berat Jenis Efektif Rata-Rata	2,81		

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



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

Peneliti



Maulana Firdaus
NIM: 17 511 206

Lampiran 11 Pemeriksaan *Sand Equivalent*

LAMPIRAN 11 PEMERIKSAAN SAND EQUIVALENT

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

No.	Keterangan	Benda Uji (gr)		Rata-Rata
		1	2	
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 Digojok 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,
Ka. Lab. Jalan Raya



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

Peneliti



Maulana Firdaus
NIM: 17 511 206

Lampiran 12 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler*

LAMPIRAN 12 PEMERIKSAAN BERAT JENIS *FILLER*

Material : *Filler*

Sumber : Clereng, Kulonprogo

Tahun Uji : 2022

No.	Keterangan	Benda Uji (gr)	
		1	2
1	Berat Vicnometer Kosong (gr)	12,04	11,84
2	Berat Vicnometer + Aquadest (gr)	29,24	29,22
3	Berat Aquadest (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)	2,561	2,545
10	Rata-Rata Berat Jenis <i>Filler</i>	2,553	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



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

Peneliti



Maulana Firdaus
NIM: 17 511 206

Lampiran 13 Hasil Pengujian Marshall Test untuk Mencari KAO



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

LAMPIRAN 13 HASIL PENGUJIAN MARSHALL TEST UNTUK MENCARI KAO

Tipe Campuran : Hot Rolled Asphalt (HRA)

Tahun Uji : 2022

SAMPLER	Tinggi (cm)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
		(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density					VMA (%)	VFVA (%)	VITM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (cm)	MQ (Kg/mm)
5,5A	6,367	5,820	5,5	1178,49	1219,88	680,28	539,6	2,1840	2,3014	11,3551	83,546	5,099	16,454	69,009	5,099	75	1109,3124	0,995833333	1104,690	3,18	347,387
5,5B	6,547	5,820	5,5	1180,75	1220,34	676,53	543,81	2,1713	2,3014	11,2888	83,058	5,653	16,942	66,631	5,653	70	1035,3582	0,953125	986,826	3,35	294,575
5,5C	6,367	5,820	5,5	1178,96	1219,27	681,37	537,9	2,1918	2,3014	11,3955	83,843	4,761	16,157	70,530	4,761	77	1138,894	0,995833333	1134,149	3,23	351,130
								2,1879					16,3057	69,7695	4,9304		1124,1032		1119,4194	3,2050	349,2582
6A	6,260	6,383	6	1172,56	1212,15	673,08	539,07	2,1752	2,2871	12,3371	82,767	4,896	17,233	71,589	4,896	82	1212,8482	1,0225	1240,137	3,38	366,905
6B	6,373	6,383	6	1173,91	1212,45	673,79	538,66	2,1793	2,2871	12,3607	82,925	4,714	17,075	72,391	4,714	83	1227,639	0,994166667	1220,478	3,51	347,714
6C	6,570	6,383	6	1172,97	1211,98	672,11	539,87	2,1727	2,2871	12,3232	82,673	5,004	17,327	71,121	5,004	85	1257,2207	0,94875	1192,788	3,43	347,752
								2,1757					17,2118	71,7001	4,8715		1232,5693		1217,8011	3,4400	354,1235
6,5A	6,410	6,952	6,5	1170,54	1205,82	664,59	541,23	2,1627	2,2731	13,2890	81,857	4,854	18,143	73,244	4,854	86	1272,0115	0,985	1252,931	4,14	302,640
6,5B	6,453	6,952	6,5	1178,2	1201,69	653,21	548,48	2,1481	2,2731	13,1991	81,303	5,498	18,697	70,595	5,498	92	1360,7565	0,974166667	1325,604	3,93	337,304
6,5C	6,390	6,952	6,5	1171,05	1206,96	665,82	541,14	2,1640	2,2731	13,2970	81,906	4,797	18,094	73,488	4,797	83	1227,639	0,99	1215,363	4,25	285,968
								2,1634					18,1188	73,3658	4,8258		1249,8253		1234,1470	4,1950	294,3041
7A	6,243	7,527	7	1170,9	1200,16	662,75	537,41	2,1788	2,2592	14,4173	82,023	3,560	17,977	80,198	3,560	71	1050,1491	1,026666667	1078,153	4,62	233,366
7B	6,327	7,527	7	1169,76	1195,69	655,08	540,61	2,1638	2,2592	14,3180	81,458	4,224	18,542	77,219	4,224	77	1138,894	1,005833333	1145,538	4,46	256,847
7C	6,323	7,527	7	1169,41	1195,13	656,88	538,25	2,1726	2,2592	14,3765	81,791	3,833	18,209	78,951	3,833	76	1124,1032	1,006666667	1131,597	4,57	247,614
								2,1682					18,3757	78,0851	4,0285		1131,4986		1138,5674	4,5150	252,2306
7,5A	6,540	8,108	7,5	1164,27	1191,03	654,73	536,3	2,1709	2,2455	15,3915	81,288	3,321	18,712	82,254	3,321	70	1035,3582	0,954375	988,120	4,68	211,137
7,5B	6,417	8,108	7,5	1164,13	1189,42	652,45	536,97	2,1680	2,2455	15,3704	81,177	3,453	18,823	81,656	3,453	71	1050,1491	0,983333333	1032,647	4,53	227,957
7,5C	6,260	8,108	7,5	1152,64	1181,43	658,65	522,78	2,2048	2,2455	15,6318	82,557	1,811	17,443	89,617	1,811	76	1124,1032	1,0225	1149,396	4,85	236,989
								2,1694					18,7678	81,9547	3,3869		1042,7536		1010,3833	4,6050	219,5470

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya

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

Peneliti

Maulana Firdaus
NIM: 17 511 206

Lampiran 14 Grafik Hasil Pengujian *Marshall Test* untuk Mencari KAO

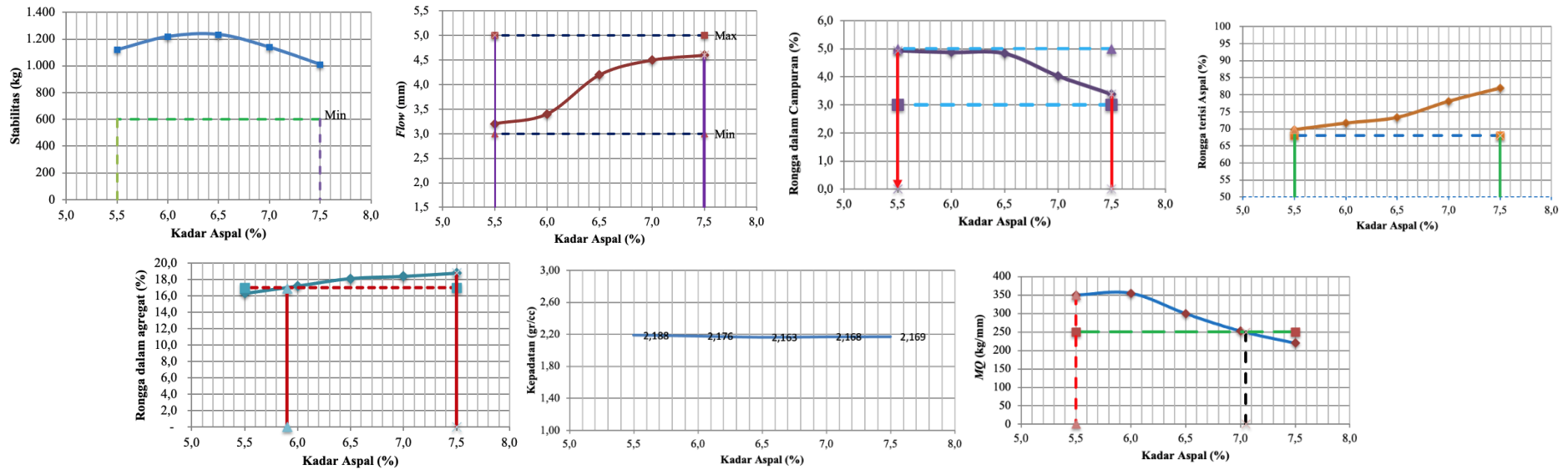


**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

LAMPIRAN 14 GRAFIK HASIL PENGUJIAN *MARSHALL TEST* UNTUK MENCARI KAO



Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

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

Peneliti

Maulana Firdaus
NIM: 17 511 206

Lampiran 15 Grafik Hasil Kadar Aspal Optimum (KAO)

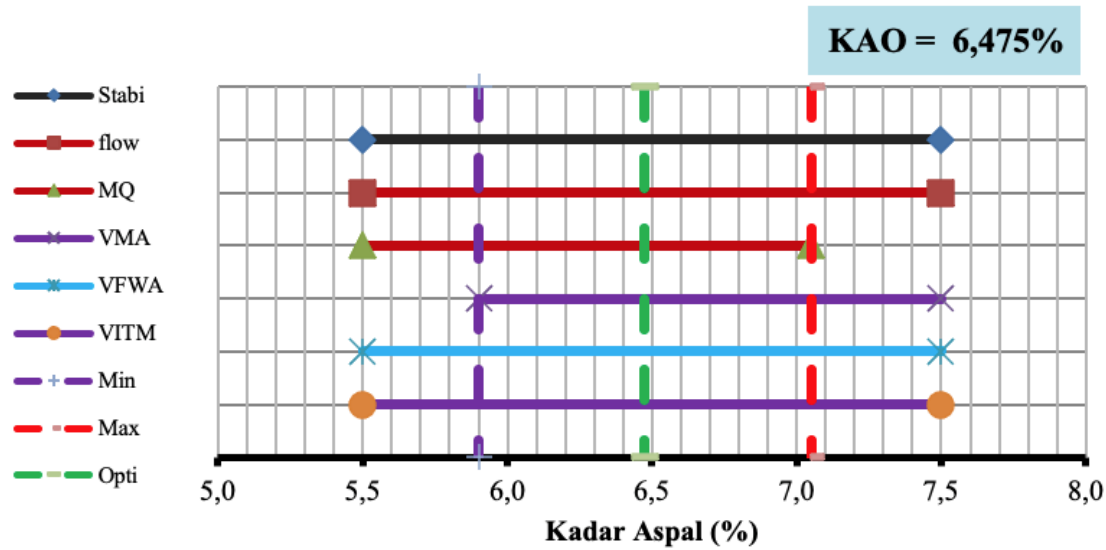


**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

LAMPIRAN 15 GRAFIK HASIL KADAR ASPAL OPTIMUM (KAO)



Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

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

Peneliti

Maulana Firdaus
NIM: 17 511 206

Lampiran 16 Hasil Pengujian *Marshall Test* dengan Dua Metode Pencampuran



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

LAMPIRAN 16 HASIL PENGUJIAN *MARSHALL TEST* DENGAN DUA METODE PENCAMPURAN

Tipe Campuran : *Hot Rolled Asphalt (HRA)*

Tahun Uji : 2022

SAMPLE	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					VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (cm)	MQ (Kg/mm)
6,5A1	6,410	6,952	6,5	1170,54	1205,82	664,59	541,23	2,1627	2,2731	13,2890	81,857	4,854	18,143	73,244	4,854	86	1272,0115	0,985	1252,931	4,14	302,640
6,5A2	6,453	6,952	6,5	1178,2	1201,69	653,21	548,48	2,1481	2,2731	13,1991	81,303	5,498	18,697	70,595	5,498	92	1360,7565	0,9742	1325,604	3,93	337,304
6,5A3	6,390	6,952	6,5	1171,05	1206,96	665,82	541,14	2,1640	2,2731	13,2970	81,906	4,797	18,094	73,488	4,797	83	1227,639	0,99	1215,363	4,25	285,968
								2,1634					18,1188	73,3658	4,8258		1249,8253		1234,1470	4,1950	294,3041
6,5B1	6,480	6,952	6,5	1175,81	1202,13	661,83	540,3	2,1762	2,2731	13,3718	82,367	4,262	17,633	75,832	4,262	93	1375,5473	0,9675	1330,842	4,69	283,762
6,5B2	6,410	6,952	6,5	1175,28	1203,34	662,30	541,04	2,1723	2,2731	13,3475	82,217	4,436	17,783	75,057	4,436	91	1345,9657	0,985	1325,776	4,55	291,379
6,5B3	6,397	6,952	6,5	1171,75	1199,95	654,84	545,11	2,1496	2,2731	13,2080	81,358	5,434	18,642	70,851	5,434	88	1301,5932	0,9883	1286,408	4,17	308,491
								2,1742					17,7082	75,4446	4,3486		1360,7565		1328,3091	4,6200	287,5705

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

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

Peneliti

Maulana Firdaus
NIM: 17 511 206

Lampiran 17 Hasil Pengujian *Immersion Test* dengan Dua Metode Pencampuran



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

LAMPIRAN 17 HASIL PENGUJIAN *IMMERSION TEST* DENGAN DUA METODE PENCAMPURAN

Tipe Campuran : *Hot Rolled Asphalt (HRA)*

Tahun Uji : 2022

SAMPSEL	Tinggi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
	(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density					VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)
6,5A1	6,297	6,952	6,5	1168,04	1186,51	653,45	533,06	2,1912	2,2731	13,4638	82,934	3,603	17,066	78,891	3,603	70	1035,3582	0,985	1019,828
6,5A2	6,517	6,952	6,5	1179,86	1200,68	664,72	535,96	2,2014	2,2731	13,5265	83,320	3,154	16,680	81,092	3,154	77	1138,894	0,9742	1109,473
6,5A3	6,497	6,952	6,5	1173,48	1196,83	657,95	538,88	2,1776	2,2731	13,3804	82,420	4,200	17,580	76,112	4,200	75	1109,3124	0,99	1098,219
								2,1844					17,3231	77,5015	3,9010		1124,1032		1103,8459
6,5B1	6,357	6,952	6,5	1174,94	1201,71	657,35	544,36	2,1584	2,2731	13,2622	81,692	5,046	18,308	72,439	5,046	77	1138,894	0,9675	1101,880
6,5B2	6,423	6,952	6,5	1177,50	1202,09	657,82	544,27	2,1634	2,2731	13,2933	81,883	4,823	18,117	73,376	4,823	82	1212,8482	0,985	1194,655
6,5B3	6,610	6,952	6,5	1174,67	1201,47	657,33	544,14	2,1588	2,2731	13,2645	81,706	5,029	18,294	72,508	5,029	85	1257,2207	0,9883	1242,553
								2,1609					18,2124	72,9075	4,9346		1235,0344		1218,6043

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

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

Peneliti

Maulana Firdaus
NIM: 17 511 206

Lampiran 18 Hasil Pengujian Indeks Durabilitas Pertama (IDP) dan Indeks Durabilitas Kedua (IDK) dengan Dua Metode Pencampuran



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

LAMPIRAN 18 HASIL PENGUJIAN INDEKS DURABILITAS PERTAMA (IDK) DAN INDEKS DURABILITAS KEDUA (IDK) DENGAN DUA METODE PENCAMPURAN

Metode Pencampuran		IKS	Si - Si+1	ti+1 - ti	IDP
Konvensional	Si	100	-	-	-
	Si+1	89,44	10,56	23,5	0,449
Dua Tahap	Si	100	-	-	-
	Si+1	91,74	8,26	23,5	0,351

Metode Pencampuran		IKS	Si - Si+1	ti+1 + ti	2tn - (ti + ti+1)	IDK
Konvensional	Si	100	-	-	-	-
	Si+1	89,44	10,56	24,5	23,5	5,169
Dua Tahap	Si	100	-	-	-	-
	Si+1	91,74	8,26	24,5	23,5	4,043

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

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

Peneliti

Maulana Firdaus
NIM: 17 511 206

Lampiran 19 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS) dengan Dua Metode Pencampuran



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

**LAMPIRAN 19 HASIL PENGUJIAN *INDIRECT TENSILE STRENGTH* (ITS) DENGAN DUA METODE
PENCAMPURAN**

Sampel		Tebal Sampel				Koreksi	Diameter Sampel (cm)	Diameter Sampel (inch)	Meas	Meas x Kalibrasi	Stabilitas (Kg)	A0	ITS (kg/cm ²)	Rata-Rata	
		(cm)													
		1	2	3	Rata-rata										
<i>Uncondition</i>															
Konvensional	6,5A	1	6,68	6,71	6,71	6,700	0,9225	10,2	4,08	65	961,404	886,895246	0,153	20,23	19,94
		2	6,52	6,51	6,48	6,503	0,962	10,3	4,12	61	902,241	867,654839	0,151	20,20	
		3	6,73	6,72	6,73	6,727	0,915833	10,2	4,08	63	931,822	853,394012	0,153	19,39	
Dua Tahap	6,5B	1	6,45	6,47	6,52	6,480	0,968	10,3	4,12	66	976,195	944,468558	0,151	22,07	21,03
		2	6,53	6,48	6,53	6,513	0,959375	10,3	4,12	59	872,659	837,207295	0,151	19,46	
		3	6,61	6,59	6,61	6,603	0,943	10,2	4,08	62	917,032	864,30225	0,153	20,00	
<i>Condition</i>															
Konvensional	6,5A	1	6,69	6,7	6,71	6,700	0,9225	10,2	4,08	52	769,123	709,516197	0,153	16,18	16,02
		2	6,64	6,65	6,64	6,643	0,935	10,2	4,08	42	621,215	580,835961	0,153	13,36	
		3	6,59	6,59	6,6	6,593	0,944375	10,2	4,08	49	724,751	684,436493	0,153	15,86	
Dua Tahap	6,5B	1	6,48	6,48	6,5	6,487	0,966	10,3	4,12	47	695,169	671,417479	0,151	15,67	17,51
		2	6,49	6,52	6,51	6,507	0,960833	10,2	4,08	53	783,914	753,210779	0,153	17,69	
		3	6,48	6,5	6,48	6,487	0,966	10,3	4,12	52	769,123	742,844871	0,151	17,34	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

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

Peneliti

Maulana Firdaus
NIM: 17 511 206

Lampiran 20 Hasil Pengujian *Tensile Strength Ratio (TSR)* dengan Dua Metode Pencampuran



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

**LAMPIRAN 20 HASIL PENGUJIAN *TENSILE STRENGTH RATIO (TSR)* DENGAN DUA METODE
PENCAMPURAN**

Metode Pencampuran	ITS Uncondition	ITS Condition	TSR (%)
Konvensional	19,94	16,02	80,36
Dua Tahap	21,03	17,51	83,26

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

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

Peneliti

Maulana Firdaus
NIM: 17 511 206

Lampiran 21 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* dengan Dua Metode Pencampuran



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

LAMPIRAN 21 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	6,5A	1	1181,28	1146,46	2,95	3,48
		2	1182,18	1142,23	3,38	
		3	1199,52	1156,54	3,58	
Dua Tahap	6,5B	1	1176,73	1147,38	2,49	2,50
		2	1176,35	1146,54	2,53	
		3	1178,59	1149,61	2,46	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

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

Peneliti

Maulana Firdaus
NIM: 17 511 206

Lampiran 22 Hasil Pengujian *Asphalt Flow Down (AFD)* dengan Dua Metode Pencampuran



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

**LAMPIRAN 22 HASIL PENGUJIAN ASPHALT FLOW DOWN (AFD) DENGAN DUA METODE
PENCAMPURAN**

Sampel			Berat			Berat Aspal Meleleh	Berat Total Sampel	Nilai <i>AFD</i>	Rata-Rata Nilai <i>AFD</i>
			m1	m2	m3				
			gr	gr	gr	gr	gr		
			Konvensional	6,5A	1	277,13	1449,52	284,82	7,69
2	291,36	1475,13			297,76	6,40	1183,77	0,54	
3	277,13	1452,15			280,75	3,62	1175,02	0,31	
Dua Tahap	6,5B	1	339,13	1518,96	345,95	6,82	1179,83	0,58	0,54
		2	337,23	1525,39	343,17	5,94	1188,16	0,50	
		3	339,13	1532,21	345,72	6,59	1193,08	0,55	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

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

Peneliti

Maulana Firdaus
NIM: 17 511 206

Lampiran 23 Analisis *T-Test* Perbandingan Dua Metode Pencampuran

TERHADAP KARAKTERISTIK *MARSHALL TEST*

1. STABILITAS

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			-4.968	2	.038	-94.16200	18.95402	-175.71455	-12.60945
	Equal variances not assumed			-4.968	1.036	.120	-94.16200	18.95402	-315.91992	127.59592

2. FLOW

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			-4.774	2	.041	-.42500	.08902	-.80803	-.04197
	Equal variances not assumed			-4.774	1.894	.046	-.42500	.08902	-.82933	-.02067

3. VITM

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			5.205	2	.035	.47650	.09155	.08260	.87040
	Equal variances not assumed			5.205	1.212	.089	.47650	.09155	-.30055	1.25355

4. VFWA

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			-5.116	2	.036	-2.07850	.40625	-3.82646	-.33054
	Equal variances not assumed			-5.116	1.196	.093	-2.07850	.40625	-5.61243	1.45543

Lanjutan Lampiran 23 Analisis *T-Test* Perbandingan Dua Metode Pencampuran

5. *VMA*

		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			5.203	2	.035	.41050	.07890	.07102	.74998
	Equal variances not assumed			5.203	1.211	.090	.41050	.07890	-.26038	1.08138

6. *DENSITY*

		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			-5.303	2	.034	-.01090	.00206	-.01974	-.00206
	Equal variances not assumed			-5.303	1.220	.087	-.01090	.00206	-.02815	.00635

7. *MARSHALL QUOTIENT*

		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			.735	2	.539	6.73350	9.16480	-32.69945	46.16645
	Equal variances not assumed			.735	1.400	.566	6.73350	9.16480	-54.27408	67.74108

Lanjutan Lampiran 23 Analisis *T-Test* Perbandingan Dua Metode Pencampuran

TERHADAP KARAKTERISTIK *IMMERSION TEST*

1. *Index of Retained Strength (IRS)*

		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
IRS	Equal variances assumed	.	.	-4.965	2	.038	-2.30000	.46325	-4.29320	-.30680
	Equal variances not assumed			-4.965	1.119	.107	-2.30000	.46325	-6.89409	2.29409

2. Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

		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
IDP	Equal variances assumed	.	.	5.093	2	.036	.10500	.02062	.01630	.19370
	Equal variances not assumed			5.093	1.125	.103	.10500	.02062	-.09743	.30743

3. Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

		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
IDK	Equal variances assumed	.	.	4.349	2	.049	1.12500	.25870	.01191	2.23809
	Equal variances not assumed			4.349	1.963	.051	1.12500	.25870	-.00816	2.25816

Lanjutan Lampiran 23 Analisis *T-Test* Perbandingan Dua Metode Pencampuran

TERHADAP KARAKTERISTIK *INDIRECT TENSILE STRENGTH (ITS)*

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
ITS	Equal variances assumed	.000	.999	-.934	2	.449	-1.09500	1.17206	-6.13797	3.94797
	Equal variances not assumed			-.934	1.523	.474	-1.09500	1.17206	-7.99926	5.80926

TERHADAP KARAKTERISTIK *TENSILE STRENGTH RATIO (TSR)*

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
TSR	Equal variances assumed	.000	.999	-6.530	2	.023	-2.90000	.44407	-4.81069	-.98931
	Equal variances not assumed			-6.530	1.820	.029	-2.90000	.44407	-5.00360	-.79640

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	.999	8.373	2	.014	.98000	.11705	.47639	1.48361
	Equal variances not assumed			8.373	1.260	.047	.98000	.11705	.05339	1.90661

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	.000	.999	.832	2	.493	.06000	.07211	-.25027	.37027
	Equal variances not assumed			.832	1.742	.504	.06000	.07211	-.29868	.41868

Lampiran 24 Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

1. Vicnometer



2. Timbangan Digital



3. Apal/Bitumen



Lampiran 25 Gambar Alat Pemeriksaan Penetrasi Aspal

1. Cawan berisi Aspal



2. Termometer



3. Stopwatch



4. Alat Penetrasi Aspal



5. Senter



Lampiran 26 Gambar Alat Pemeriksaan Daktilitas Aspal

1. Mesin Uji Daktilitas



2. Termometer



Lampiran 27 Gambar Alat Pemeriksaan Titik Lembek Aspal

1. Bejana Gelas



2. Termometer



3. Stopwatch



4. Alat Pemanas



5. Cincin Kuningan



Lampiran 28 Gambar Alat Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal

1. Alat Uji Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal



2. Termometer



Lampiran 29 Gambar Alat Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam TCE

1. Bejana Gelas



5. Alat Pompa



2. Timbangan



6. Oven



3. Larutan TCE



7. Kertas Saring



4. Pengaduk



8. Aspal



Lampiran 30 Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

1. Timbangan + Keranjang Kawat



2. Oven



3. Kain Lap



Lampiran 31 Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

1. *Cone* dan Penumbuk



2. Vicinometer



3. Oven



4. Timbangan



Lampiran 32 Gambar Alat Pemeriksaan Kelekatan Agregat terhadap Aspal

1. *Cone* dan Penumbuk



2. Vicnometer



3. Oven



Lampiran 33 Gambar Alat Pemeriksaan Keausan Agregat

1. Mesin *Los Angeles*



2. Bola Baja



3. Oven



4. Timbangan



Lampiran 34 Gambar Alat Pemeriksaan *Sand Equivalent*

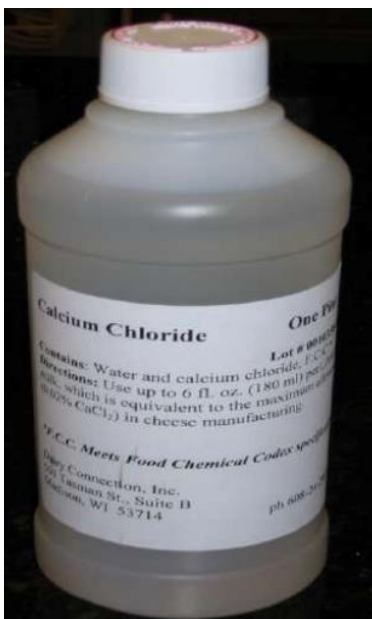
1. Alat Pengujian



2. Silinder Ukur



3. Larutan CaCl₂



Lampiran 35 Gambar Alat Analisis Saringan

1. Mesin *Shaker Aggregate*



4. Kuas



2. Saringan



5. Timbangan



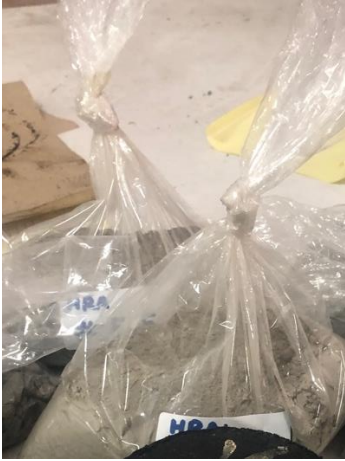
3. Wadah



Lampiran 36 Gambar Pembuatan Sampel Campuran

METODE PENCAMPURAN KONVENSIONAL

1. Menyiapkan agregat campuran di dalam plastik.



2. Memanaskan agregat di atas wajan hingga suhu $\pm 165^{\circ}\text{C}$.



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



Lanjutan Lampiran 36 Gambar Pembuatan Sampel Campuran

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



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



6. Menumbuk campuran di dalam cetakan dengan mesin penumbuk sebanyak 50x di masing-masing permukaan.



Lanjutan Lampiran 36 Gambar Pembuatan Sampel Campuran

7. Dinginkan campuran.



8. Mengeluarkan campuran dari cetakan dengan *ejector*.



9. Memberi nama pada campuran sebagai penanda.



Lanjutan Lampiran 36 Gambar Pembuatan Sampel Campuran

METODE PENCAMPURAN DUA TAHAP

1. Menyiapkan agregat kasar dan agregat halus di dalam plastik yang berbeda.



2. Memanaskan agregat kasar dan agregat halus di atas wajan yang berbeda hingga suhu $\pm 165^{\circ}\text{C}$.



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



Lanjutan Lampiran 36 Gambar Pembuatan Sampel Campuran

4. Memasukkan aspal panas ke dalam wajan berisi agregat kasar, lalu dicampur hingga melapisi seluruh permukaan agregat kasar.



5. Memasukkan agregat halus ke dalam campuran aspal dan agregat kasar, lalu dicampur hingga homogen.



Selanjutnya sama dengan mengikuti langkah-langkah 5–9 pada pencampuran konvensional.

Lampiran 37 Gambar Pengujian *Marshall Test* dan *Immersion Test*

1. Mengukur benda uji menggunakan jangka sorong, lalu menimbang berat benda uji.



2. Merendam benda uji di dalam air suhu ruang selama ± 24 jam.



3. Menimbang berat benda uji di dalam air, lalu dikeluarkan dari air dan dikeringkan hingga kering permukaan.



Lanjutan Lampiran 37 Gambar Pengujian *Marshall Test* dan *Immersion Test*

4. Menimbang benda uji kering permukaan.



5. Masukkan ke dalam *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 38 Gambar Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* dan *Tensile Strength Ratio (TSR)*

1. Mengukur benda uji menggunakan jangka sorong, lalu menimbang berat benda uji.



2. Masukkan benda uji ke dalam *waterbath* dengan suhu 60°C selama 30 menit untuk *ITS* dan 24 jam untuk *TSR*.



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



Lampiran 39 Gambar Pengujian *Cantabro Loss*

1. Menimbang berat benda uji.



2. Masukkan benda uji ke dalam mesin *Los Angeles* dan diatur putaran sebanyak 300x tanpa bola besi.



3. Keluarkan benda uji, lalu ditimbang dan dicatat hasilnya.



Lampiran 40 Gambar Pengujian *Asphalt Flow Down (AFD)*

1. Memasak benda uji sesuai metode pencampurannya.



2. Menimbang nampan kosong.
3. Menuang campuran yang sudah homogen ke atas nampan dan ditimbang.



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



Lanjutan Lampiran 40 Gambar Pengujian *Asphalt Flow Down (AFD)*

5. Mengeluarkan nampan dari dalam oven, lalu ditumpahkan secara cepat dan ditimbang nampan dengan sisa aspal yang menempel, dan dicatat hasilnya.

