

TUGAS AKHIR

**PENGARUH OLI BEKAS SEBAGAI BAHAN *PEREMAJA RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP)* TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN *SPLIT MASTIC ASPHALT (SMA) 0/11* DENGAN SERAT RAMI
*(THE EFFECT OF WASTE OIL AS RECLAIMED ASPHALT PEVEMENT (RAP) REJUVENATOR TO CHARACTERISTICS OF SPLIT MASTIC ASHPHALT (SMA) 0/11 WITH FIBER RAMI)***

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



**RAFI FADHIL NUGROHO
15 511 269**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2020**

TUGAS AKHIR

**PENGARUH OLI BEKAS SEBAGAI BAHAN *PEREMAJA RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP)* TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN *SPLIT MASTIC ASPHALT (SMA) 0/11* DENGAN SERAT RAMI
*(THE EFFECT OF WASTE OIL AS RECLAIMED ASPHALT PEVEMENT (RAP) REJUVENATOR TO CHARACTERISTICS OF SPLIT MASTIC ASHPHALT (SMA) 0/11 WITH RAMI FIBER)***

Disusun Oleh

Rafi Fadhil Nugroho

15511269

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

Diuji pada tanggal 5 November 2020

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing



Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D

NIK: 955110103

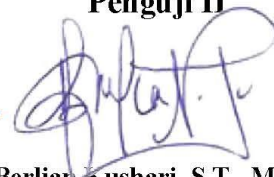
Penguji I



Subarkah, S.T., M.T.

NIK: 865110101

Penguji II



Berlian Kushari, S.T., M.T.

NIK: 015110101

Mengesahkan

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Ir. Amini Yuni Astuti, M.T.

NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia seluruhnya 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 dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan 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, 3 Juni 2020

Yang membuat pernyataan,



Rafi Fadhil Nugroho
(15511269)

DEDIKASI



Puji syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat sampai juga pada tahap ini, melalui tulisan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Keluarga Penulis yaitu Daddy, Mama, Kakak dan Adik yang telah banyak memberi dukungan kepada penulis berupa motivasi, doa, dan materiil
2. Bapak/Ibu Dosen, Laboran, dan Staff Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII yang sangat membantu penulis dalam berproses di kampus ini.
3. Keluarga “SIMALAS 15” yang selalu membantu, mengingatkan, menjadi teman diskusi dan bermain penulis selama menimba ilmu di teknik sipil. Semoga sukses dan sehat selalu kawan-kawan.
4. Seluruh rekan, keloga dan seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu yang telah membantu penulis selama ini.

“I always say life is like marathon”

Bukan mengejar juara 1, 2, 3 tapi gimana caranya kita bisa menyelesaikannya. Bukan seberapa cepat kita berlari tapi seberapa lama kita bisa bertahan. Mungkin kita melambat tapi kita terus bergerak maju sedikit demi sedikit hingga selesai.

- Keep Going -

Terimakasih

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada kehadiran Allah SWT tuhan semesta alam, yang mana atas segala rahmat dan hidayahnya lah penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Pengaruh Oli Bekas Sebagai Bahan Peremaja *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* Terhadap Karakteristik Campuran Split Mastic Asphalt (*SMA*) 0/11 Dengan Serat Rami. 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 oleh 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. Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan banyak ilmu, pengarahan dan dukungan demi terselesaikanya penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Subarkah, Ir., M.T dan Berlian Kushari, S.T., M.Eng selaku dosen penguji Tugas Akhir, yang telah memberikan banyak masukan, kritik maupun saran, dan memberikan evaluasi agar lebih baik di kemudian hari.
3. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Subarkah, Ir., M.T. selaku Kepala Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Sukamto dan Bapak Pranoto, selaku laboran Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
6. Ibu Wiwik, selaku staff administrasi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

7. Saudara Tnorth Adhitya Prayuda dan Ahmad Hanif Wildanyah, selaku teman satu kelompok pada Tugas Akhir ini.
8. Saudara Adyatma, Syafii, Bagas, Matris, Falah, Farkhan, Sandy, Zekha, dan Babud yang telah membatu pengujian pada Tugas Akhir ini.
9. Dan seluruh pihak yang telah mendukung terselesaikanya Tugas Akhir ini. Akhirnya Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 3 Juni 2020

Penulis,



A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Rafi Fadhil Nugroho', is written over the logo area.

Rafi Fadhil Nugroho
(15511269)

DAFTAR ISI

HALAMAN UTAMA	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvii
ABSTRAK	xix
<i>ABSTRACT</i>	xx
BAB I	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II	5
2.1 Pengaruh Penggunaan <i>RAP</i> dengan <i>Rejuventor</i>	5
2.1.1 Penggunaan Solar Sebagai Peremaja <i>RAP</i> Pada Campuran <i>AC –WC</i>	5
2.1.2 Pengaruh Asbuton Terhadap <i>RAP</i> dengan Peremaja Oli Bekas dan Solar	6
2.1.3 Penggunaan Minyak Goreng Curah Nabati, Oli SAE 10, dan <i>RejRE</i> Sebagai Peremaja <i>RAP</i>	6
2.1.4 Penggunaan Minyak Goreng Bekas Sebagai Peremaja <i>RAP</i> Pada Campuran <i>Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11</i>	6
2.2 Pengaruh <i>RAP</i> Terhadap Campuran <i>Split Mastic Asphalt (SMA)</i>	7
2.2.1 Penggunaan <i>RAP</i> dan Serat Dedak Padi Pada Campuran <i>SMA</i>	7
2.2.2 Pengaruh Campuran Aspal Bergradasi Senjang (<i>AASHTO M 325 - 08</i>) Terhadap Selulosa Rami (<i>Boehmeria Nivea</i>)	7

2.3	Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	7
2.4	Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Penulis	11
BAB III		12
3.1	Perkerasan Jalan	12
3.2	<i>Split Mastic Asphalt (SMA)</i>	13
3.3	Agregat	15
3.4	Aspal	18
3.5	<i>Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)</i>	19
3.6	Bahan Peremaja (<i>Rejuvenator</i>)	20
3.7	Serat Rami (<i>Boehmeria Nivea</i>)	21
3.8	Kinerja Campuran Beraspal	22
3.8.1	Tahanan Geser (<i>Skid Resistant</i>)	22
3.8.2	Kelenturan (<i>Flexibility</i>)	23
3.8.3	Kemudahan Pekerjaan (<i>Workability</i>)	23
3.8.4	Ketahanan Kelelahan (<i>Fatigue Resistance</i>)	23
3.8.5	Stabilitas	28
3.8.6	Kelelahan (<i>Flow</i>)	28
3.8.7	Keawetan (<i>Durability</i>)	29
3.8.8	Indeks Durabilitas Pertama (IDP)	29
3.8.9	Indeks Durabilitas Kedua (IDK)	30
3.8.10	Kuat Tarik Tak Langsung (<i>Indirect Tensile Strength</i>)	31
3.8.11	Kuat Tarik Tak Langsung Dengan Variasi Perendaman (<i>Tensile Strength Ratio</i>)	31
3.8.12	Karakteristik <i>Cantabro</i>	32
3.8.13	<i>Marshall Quotient (MQ)</i>	32
BAB IV		33
4.1	Metode Penelitian	33
4.2	Metode Pengambilan Data	33
4.3	Tahapan Penelitian	33
4.3.1	Persiapan dan Pemeriksaan Material	34
4.3.2	Persiapan Alat	36
4.3.3	Perencanaan Campuran Penelitian (<i>Mix Design</i>)	37
4.3.4	Pengujian <i>Marshall</i>	41
4.3.5	Pengujian Perendaman (<i>Immersion Test</i>)	42

4.3.6	Pengujian Kuat Tarik Tak Langsung (<i>Indirect Tensile Strength</i>)	43
4.3.7	Pengujian <i>Cantabro</i>	43
4.4	Analisis Data	43
4.4.1	Analisis Karakteristik <i>Marshall</i>	43
4.4.2	Analisis Statistik	45
4.5	Bagan Alir Proses Penelitian	46
BAB V		48
5.1	Hasil Pengujian Material dan Campuran	48
5.1.1	Hasil Pengujian Agregat Kasar	48
5.1.2	Hasil Pengujian Agregat Halus	49
5.1.3	Hasil Pengujian <i>Filler</i>	49
5.1.4	Hasil Pengujian Aspal	49
5.1.5	Hasil Pengujian <i>Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)</i>	50
5.1.6	Hasil Pengujian Campuran <i>Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11</i> untuk Menentukan Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)	51
5.2	Pembahasan	58
5.2.1	Karakteristik Agregat Kasar	58
5.2.2	Karakteristik Agregat Halus	59
5.2.3	Karakteristik <i>Filler</i>	60
5.2.4	Karakteristik Aspal	60
5.2.5	Karakteristik <i>Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)</i>	62
5.2.6	Hasil Peninjauan Karakteristik Marshall untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada Campuran <i>Split Mastic Asphalt</i> (<i>SMA</i>) 0/11	63
5.2.7	Karakteristik <i>Marshall</i> pada Kadar Aspal Optimum (KAO) Penambahan Oli Bekas Sebagai Peremaja <i>Reclaimed Asphalt</i> <i>Pavement (RAP)</i> pada Campuran <i>Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11</i> dengan Serat Rami	70
5.2.8	Karakteristik <i>Index of Retained Strength (IRS)</i> Penambahan Oli Bekas Sebagai Peremaja <i>Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)</i> pada Campuran <i>Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11</i> dengan Serat Rami	81
5.2.9	Indeks Durabilitas Pertama (IDP) Penambahan Oli Bekas Sebagai Peremaja <i>Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)</i> pada Campuran <i>Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11</i> dengan Serat Rami	83

5.2.10	Indeks Durabilitas Kedua (IDK) Penambahan Oli Bekas Sebagai Peremaja <i>Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)</i> pada Campuran <i>Split Mastic Asphalt (SMA)</i> 0/11 dengan Serat Rami	83
5.2.11	Karakteristik <i>Indirect Tensile Streght (ITS)</i> Penambahan Oli Bekas Sebagai Peremaja <i>Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)</i> pada Campuran <i>Split Mastic Asphalt (SMA)</i> 0/11 dengan Serat Rami	84
5.2.12	Karakteristik <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i> Penambahan Oli Bekas Sebagai Peremaja <i>Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)</i> pada Campuran <i>Split Mastic Asphalt (SMA)</i> 0/11 dengan Serat Rami	86
5.2.13	Karakteristik <i>Cantabro</i> Penambahan Oli Bekas Sebagai Peremaja <i>Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)</i> pada Campuran <i>Split Mastic Asphalt (SMA)</i> 0/11 dengan Serat Rami	87
5.3	Pengaruh Penambahan Kadar Peremaja Oli Bekas Sebagai Peremaja <i>Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)</i> pada Campuran <i>Split Mastic Asphalt (SMA)</i> 0/11 dengan Serat Rami	89
BAB VI		91
6.1	Kesimpulan	91
6.2	Saran	93
DAFTAR PUSTAKA		94
LAMPIRAN		97

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Penulis	8
Tabel 3.1 Persyaratan Campuran <i>Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11</i>	14
Tabel 3.2 Ketentuan Agregat Kasar	16
Tabel 3.3 Ketentuan Agregat Halus	16
Tabel 3.4 Gradasi Agregat <i>Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11</i>	17
Tabel 3.5 Ketentuan-ketentuan Aspal	19
Tabel 3.6 Sifat Fisik, Kimia, dan Mekanik Serat Rami	21
Tabel 4.1 Standar Pengujian Aspal	36
Tabel 4.2 Kebutuhan Jumlah Agregat dengan Kadar Aspal 5,5%	38
Tabel 4.3 Kebutuhan Jumlah Agregat dengan Kadar Aspal 6%	38
Tabel 4.4 Kebutuhan Jumlah Agregat dengan Kadar Aspal 6,5%	39
Tabel 4.5 Kebutuhan Jumlah Agregat dengan Kadar Aspal 7%	39
Tabel 4.6 Kebutuhan Jumlah Agregat dengan Kadar Aspal 7,5%	40
Tabel 4.7 Jumlah Benda Uji untuk Rencana Kadar Aspal Optimum (KAO)	40
Tabel 4.8 Jumlah Benda Uji pada KOA dengan Variasi Pengujian Oli Bekas	41
Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Kasar	48
Tabel 5.2 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Halus	49
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Berat Jenis Filler	49
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70	50
Tabel 5.5 Karakteristik Material <i>RAP</i>	50
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Marshall Pada Kadar Peremaja 0%	52
Tabel 5.7 Hasil Pengujian Marshall Pada Kadar Peremaja 2%	53
Tabel 5.8 Hasil Pengujian Marshall Pada Kadar Peremaja 3%	54
Tabel 5.9 Hasil Pengujian Marshall Pada Kadar Peremaja 4%	55
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Marshall Pada Kadar Peremaja 5%	56
Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Pengujian karakteristik <i>Marshall</i> untuk Mencari Kadar Aspal Optimum Campuran <i>SMA 0/11</i>	57

Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum Campuran SMA 0/11	58
Tabel 5.13 Kadar Aspal Pada Material <i>RAP</i>	62
Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i>	70
Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Index of Retained Strength (IRS)</i>	81
Tabel 5.16 Rangkuman Hasil Pengujian Campuran SMA 0/11	89



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Struktur Lapis Permukaan Jalan	12
Gambar 3.2 Penyebaran Beban Roda Pada Lapis Perkerasan Jalan	13
Gambar 3.3 Gradasi Agregat <i>Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11</i>	17
Gambar 3.4 Ilustrasi Komposisi Aspal	18
Gambar 3.5 Matreial <i>RAP</i>	20
Gambar 3.6 Serat Rami	22
Gambar 3.7 Ilustrasi <i>VIM</i> dan <i>VMA</i>	27
Gambar 3.8 Ilustasi <i>VFWA</i>	28
Gambar 4.1 Bagan Alir Proses Penelitian	46
Gambar 5.1 Nilai KAO Pada Kadar Peremaja 0%	52
Gambar 5.2 Nilai KAO Pada Kadar Peremaja 2%	53
Gambar 5.3 Nilai KAO Pada Kadar Peremaja 3%	54
Gambar 5.4 Nilai KAO Pada Kadar Peremaja 4%	55
Gambar 5.5 Nilai KAO Pada Kadar Peremaja 5%	56
Gambar 5.6 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas	63
Gambar 5.7 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai <i>Flow</i>	64
Gambar 5.8 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai <i>MQ</i>	65
Gambar 5.9 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai <i>VITM</i>	66
Gambar 5.10 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai <i>VFWA</i>	67
Gambar 5.11 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai <i>VMA</i>	68
Gambar 5.12 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai <i>Density</i>	69
Gambar 5.13 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai Stabilitas Pada Nilai KAO	71
Gambar 5.14 Grafik Hubungan Kadar Peremaja Residu Oli Dengan Nilai Stabilitas	72
Gambar 5.15 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai <i>Flow</i> Pada Nilai KAO	73
Gambar 5.16 Grafik Hubungan Kadar Peremaja Minyak Goreng Bekas	74

Gambar 5.17 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai <i>MQ</i> Pada Nilai KAO	75
Gambar 5.18 Grafik Hubungan Kadar Peremaja Minyak Goreng Bekas	76
Gambar 5.19 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai <i>VITM</i> Pada Nilai KAO	77
Gambar 5.20 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai <i>VFWA</i> Pada Nilai KAO	78
Gambar 5.21 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai <i>VMA</i> Pada Nilai KAO	79
Gambar 5.22 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai <i>Density</i> Pada Nilai KAO	80
Gambar 5.23 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai <i>IRS 1</i> dan <i>IRS 2</i> Pada Nilai KAO	81
Gambar 5.24 Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai <i>IRS</i>	82
Gambar 5.25 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai IDP 24 Jam dan Nilai IDP 48 Jam	83
Gambar 5.26 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai IDK 24 Jam dan Nilai IDK 48 Jam	84
Gambar 5.27 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai <i>ITS uncondition</i>	85
Gambar 5.28 Grafik Perbandingan Nilai <i>ITS uncondition</i> & <i>ITS condition</i>	85
Gambar 5.29 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai <i>TSR</i>	86
Gambar 5.30 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai <i>Cantabro Loss</i>	87
Gambar 5.31 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai <i>Cantabro</i>	88

DAFTAR LAMPIRAN

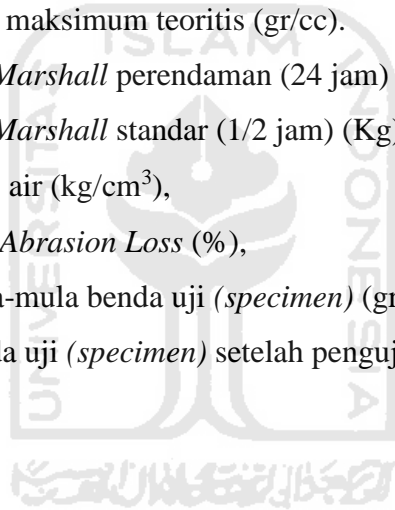
Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal	98
Lampiran 2 Pemeriksaan Kelarutan	99
Lampiran 3 Form Penmeriksaan Daktilitas	100
Lampiran 4 Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal	101
Lampiran 5 Pemeriksaan Penetrasi Aspal	102
Lampiran 6 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal	103
Lampiran 7 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	104
Lampiran 8 Pemeriksaan Berat Jenis Agregta Kasar	105
Lampiran 9 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	106
Lampiran 10 Pemeriksaan Berat Jenis Filler Clereng	107
Lampiran 11 Pemeriksaan Sand Equivalent	108
Lampiran 12 Pemeriksaan Keausan Agregat	109
Lampiran 13 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pada Material <i>RAP</i>	110
Lampiran 14 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pada Material <i>RAP</i>	111
Lampiran 15 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Menentukan KAO Pada Kadar Peremaja 0%	112
Lampiran 16 Grafik Pengujian <i>Marshall</i> Menentukan KAO Pada Kadar Peremaja 0%	113
Lampiran 17 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Menentukan KAO Pada Kadar Peremaja 2%	114
Lampiran 18 Grafik Pengujian <i>Marshall</i> Menentukan KAO Pada Kadar Peremaja 2%	115
Lampiran 19 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Menentukan KAO Pada Kadar Peremaja 3%	116
Lampiran 20 Grafik Pengujian <i>Marshall</i> Menentukan KAO Pada Kadar Peremaja 3%	117
Lampiran 21 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Menentukan KAO Pada Kadar Peremaja 4%	118

Lampiran 22 Grafik Pengujian <i>Marshall</i> Menentukan KAO Pada Kadar Peremaja 4%	119
Lampiran 23 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Menentukan KAO Pada Kadar Peremaja 5%	120
Lampiran 24 Grafik Pengujian <i>Marshall</i> Menentukan KAO Pada Kadar Peremaja 5%	121
Lampiran 25 Hasil terhadap Pengujian <i>Marshall</i> 0,5 Jam dengan KAO	122
Lampiran 26 Grafik Pengujian <i>Marshall</i> 0,5 Jam dengan KAO	123
Lampiran 27 Hasil Terhadap Pengujian <i>IRS</i> 24 Jam dengan KAO	124
Lampiran 28 Hasil Terhadap Pengujian <i>IRS</i> 48 Jam dengan KAO	125
Lampiran 29 Pengujian <i>Indirect Tensile Strength</i> dari Hasil KAO	126
Lampiran 30 Pengujian <i>Indirect Tensile Strength</i> 24 Jam dari Hasil KAO	127
Lampiran 31 Grafik Perbandingan Hasil Pengujian <i>ITS</i> 1 dan <i>ITS</i> 2 dengan KAO	128
Lampiran 32 Pengujian <i>Cantabro</i> dari Hasil KAO	129
Lampiran 33 Pengujian Durabilitas 24 Jam pada Campuran <i>SMA</i>	130
Lampiran 34 Hasil Analisis Statistik Pengujian dengan <i>ANOVA (Test of Homogeneity of Variances)</i>	131
Lampiran 35 Hasil Analisis Statistik Pengujian dengan <i>ANOVA</i>	132

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

<i>SMA</i>	: <i>Split Mastic Asphalt</i>
<i>RAP</i>	: <i>Reclaimed Asphalt Pavement</i>
<i>AMP</i>	: <i>Asphalt Mixing Plant</i>
<i>IRS</i>	: <i>Index of Retained Strength</i>
<i>ITS</i>	: <i>Index of Tensile Strength</i>
<i>TSR</i>	: <i>Tensile Strength Ratio</i>
IDP	: Indek Durabilitas Pertama
IDK	: Indek Durabilitas Kedua
<i>VMA</i>	: <i>Voids in the Mineral Aggregate</i>
<i>VITM</i>	: <i>Voids in the Mix</i>
<i>VFWA</i>	: <i>Void Filled with Asphalt</i>
<i>MQ</i>	: <i>Marshall Quetient</i>
<i>ASTM</i>	: <i>American Standart Testing and Material</i>
SNI	: Standar Nasional Indonesia
V_{mb}	: volume <i>bulk</i>
Gsb	: berat jenis <i>bulk</i> total agregat
P_1, P_2, P_n	: persen berat masing-masing agregat
G_1, G_2, G_n	: persen berat jenis masing-masing agregat
G_{se}	: berat jenis efektif total agregat,
G_{mm}	: berat jenis maksimum campuran aspal (tanpa rongga),
P_{mm}	: persentase berat dari total campuran yang belum padat,
P_b	: kadar aspal, persen berat total dari campuran,
G_b	: berat jenis aspal.
P_s	: kadar agregat, persen berat total dari campuran,
c	: berat benda uji sebelum direndam (gr),
d	: berat benda uji jenuh air (gr),

e	: volume benda uji di dalam air (ml),
f	: volume benda uji (ml),
BD = G	: berat volume benda uji
Bk	: Berat benda uji kering oven (gr)
B	: Berat piknometer berisi air (gr)
Bt	: Berat piknometer berisi benda uji dan air (gr)
qs	: nilai stabilitas,
p	: pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi <i>proving ring</i> ,
q	: angka koreksi benda uji
g	: berat volume benda uji / nilai <i>density</i> (gr/cc),
h	: berat jenis maksimum teoritis (gr/cc).
MSi	: stabilitas <i>Marshall</i> perendaman (24 jam) (Kg),
MSs	: stabilitas <i>Marshall</i> standar (1/2 jam) (Kg).
γ_{air}	: berat jenis air (kg/cm ³),
CALi	: <i>Cantabro Abrasion Loss</i> (%),
mi1	: berat mula-mula benda uji (<i>specimen</i>) (gr)
mi2	: berat benda uji (<i>specimen</i>) setelah pengujian (gr).



ABSTRAK

Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) merupakan limbah sisa dari perkerasan jalan yang telah rusak atau umur rencananya sudah habis. Agar material *RAP* dapat digunakan kembali maka diperlukan bahan peremaja (*rejuvenator*) untuk mengembalikan sifat dari aspal lama. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh oli bekas sebagai bahan peremaja *RAP* pada campuran aspal bergradasi *Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11* dengan serat rami terhadap karakteristik *Marshall, IRS, ITS, dan Cantabro*.

Penelitian ini dimulai dengan pemeriksaan sifat fisik material pada agregat, aspal, dan *RAP*, kemudian menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada variasi kadar peremaja oli bekas 0%, 2%, 3%, 4%, dan 5% terhadap berat aspal lama. Hasil KAO kemudian dilakukan pengujian *Marshall, IRS, ITS, dan Cantabro*. Pedoman yang digunakan sebagai standar adalah Spesifikasi Bina Marga Tahun 2010, Bina Marga Tahun 1983 dan *Asphalt Institute 1993*.

Hasil penelitian menunjukkan pengaruh penambahan oli bekas sebagai peremaja *RAP* pada kadar 2%-3% dapat digunakan dalam campuran *Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11* dengan serat rami. Penggunaan serat rami sebagai serat selulosa pada penelitian ini memiliki pengaruh mengisi dan mengikat ruang antar agregat dan aspal pada campuran. Hasil pengujian *Marshall* menunjukkan bahwa seiring penambahan kadar peremaja kemampuan campuran dalam menahan beban semakin menurun dan kelenturan pada campuran semakin bertambah. Pada pengujian *IRS* menunjukkan penurunan durabilitas pada campuran perkerasan seiring penambahan kadar peremaja dengan nilai *IRS 24* jam memenuhi syarat dari Bina Marga sebesar $\geq 90\%$ pada kadar peremaja 0%-3%, sedangkan nilai *IRS 48* jam tidak memenuhi syarat pada seluruh variasi kadar peremaja. Pada pengujian *ITS* nilai *ITS uncondition* dan *ITS condition* diperoleh pengaruh penambahan variasi kadar peremaja dapat menurunkan kinerja kuat tarik pada campuran perkerasan dengan nilai *ITS* optimum berada pada kadar peremaja 2%, sedangkan nilai *TSR* menurun seiring bertambahnya kadar peremaja. Pada pengujian *Cantabro* dengan nilai *Cantabro Loss* pada semua variasi oli bekas memenuhi syarat Bina Marga (2010) $\leq 20\%$ namun seiring bertambahnya kadar peremaja kemampuan campuran perkerasan terhadap disintegrasi meningkat akibat benturan. Pada penelitian ini sifat kimiawi pada kandungan oli bekas dan serat rami diabaikan, maka untuk penelitian selanjutnya diperlukan pengujian yang lebih mendalam terkait sifat kimiawi yang terkandung pada oli bekas dan serat rami.

Kata-kata kunci: Oli bekas, *reclaimed asphalt pavement*, serat rami, *split mastic asphalt 0/11*

ABSTRACT

Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) is the residual waste of the pavements of roads that have been damaged or the life plan has expired. For the RAP material can be reused then the rejuvenator material is required to restore the properties of the old asphalt. The purpose of this research is to determine the influence of used oil as a RAP in a graded asphalt mixture of Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11 with rami fiber against the characteristics of Marshall, IRS, ITS, TSR, and Cantabro.

The research begins with the examination of the physical properties of the material on the aggregate, asphalt, and RAP, then determines the Optimum asphalt rate (KAO) on the variation of the oil level of Dipp used 0%, 2%, 3%, 4%, and 5% against the weight of the old asphalt. KAO results then done testing of Marshall, IRS, ITS, TSR, and Cantabro. The guidelines used as standard are the specifications of Bina Marga year 2010 and Bina Marga year 1983.

The results showed the influence of adding used oil as a RAP in the rate of 2%-3% can be used in the mixture of Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11 with hemp fiber. The use of hemp fiber as a cellulose fiber on this research has the influence of filling and binding space between aggregate and asphalt on the mixture. Marshall's test results indicate that as the addition of the combined rate of mixed ability to withstand the burden decreases and the flexibility of the mixture increases. In the IRS testing showed a decrease in the durability of the compoat mixture as the increase in the rate of the meter with an IRS value of 24 hours qualified from Bina Marga amounted to $\geq 90\%$ at a rate of 0%-3%, while the value of the IRS 48 hours is not qualified in all variations of the rate of the condition. At ITS Pegujian its value is uncondition and ITS condition acquired influence the addition of variations in the level of the rate of the increase of the strong tensile performance in the compoon mixture with ITS optimum value is at a rate of 2%, while the value of TSR decreases as the rate of the increase. In the Cantabro test with the value of Cantabro Loss on all variations of used oil qualified Bina Marga (2010) $\leq 20\%$ but as increase the level of the ability to increase the mixture of the disintegrating increases due to impact. In this study the chemical properties of used oil content and hemp fibers were ignored, so for further research more in-depth testing is needed regarding the chemical properties contained in used oils and hemp fibers.

Keywords: *Used lubricant oil, reclaimed asphalt pavement, rami fiber, split mastic asphalt 0/11*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan salah satu infrastruktur transportasi yang memiliki peranan penting dalam menunjang aktivitas masyarakat. Kebutuhan akan jalan sangat dibutuhkan karena dapat menghubungkan suatu daerah dengan daerah lainnya sehingga tercipta kegiatan perekonomian. Perkerasan jalan memiliki pengaruh besar terhadap kualitas suatu jalan sehingga harus memiliki daya tahan lama, murah, serta ramah lingkungan agar dapat memberikan pelayanan yang aman dan nyaman pada setiap penggunaannya. Terdapat banyak inovasi metode perkerasan jalan yang mampu menghasilkan kualitas sesuai standar namun menggunakan material perkerasan jalan yang sudah rusak/limbah aspal lama, salah satunya adalah metode daur ulang yang sering disebut *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*.

Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) adalah limbah sisa perkerasan jalan yang telah rusak atau habis umur rencananya. *RAP* memiliki kendala pada kualitas yang tidak sama dengan campuran aspal baru sehingga perlu dilakukan perbaikan terhadap properti dari *RAP*. Salah satu cara memperbaiki properti dari *RAP* yaitu dengan penambahan bahan peremaja untuk mengembalikan sifat aspal tersebut dan menjadi bahan perkerasan baru. Penambahan material *RAP* pada perkerasan baru dapat meminimalisir penggunaan aspal dan agregat baru. Pengembalian sifat aspal seperti semula pada material *RAP* digunakan bahan peremaja yaitu oli bekas.

Pemerintah Indonesia melalui PP No.18 Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) telah menyerukan tentang bahaya limbah bahan berbahaya dan beracun terhadap lingkungan. Salah satu limbah B3 yang berbahaya apabila tidak dikelola adalah oli bekas kendaraan bermotor. Limbah ini banyak ditemukan pada bengkel kendaraan bermotor namun hanya sedikit pihak yang memanfaatkannya. Oli terbuat dari *crude oil* yang mengandung bahan hidro karbon, paraffin, dan resin serta mampu bekerja pada suhu rendah dan tinggi, maka dari itu oli bekas digunakan sebagai peremaja terhadap bahan *RAP*

untuk mengembalikan sifat *RAP* mendekati seperti aspal baru, kemudian ditambahkan ke dalam campuran aspal dan agregat.

Split Mastic Asphalt (SMA) merupakan salah satu jenis aspal beton campuran panas (*hot mix*) bergrdasi terbuka, yang terdiri dari campuran agregat, *mastic asphalt*, dan bahan tambah berupa serat selulosa. Campuran ini memiliki kandungan agregat kasar yang tinggi dengan *interlock* yang baik sehingga nilai stabilitas yang tinggi dan tahan terhadap gaya geser yang digunakan pada perkerasan jalan raya *Heavy Loaded* yaitu konstruksi jalan raya yang selalu menerima beban-beban berat. Serat selulosa yang umumnya digunakan pada campuran SMA adalah *Roadcel-50* namun masih jarang dijual di Indonesia dan memiliki harga yang mahal, karena itu penelitian ini memanfaatkan sumberdaya lokal, yaitu tanaman Rami (*Boehmeria Nivea*). Serat rami memiliki kadar selulosa cukup tinggi dan biasanya digunakan pada industri tekstil. Tanaman ini memiliki daya serap air yang tinggi sehingga memungkinkan untuk menyerap aspal.

Oleh karena latar belakang tersebut maka dilakukan penelitian tentang pengaruh oli bekas sebagai bahan peremaja *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* terhadap campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 dengan serat rami (*boehmeria nivea*).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian di atas, maka dibentuk rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh oli bekas sebagai bahan peremaja *RAP* terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 dengan serat rami?
2. Bagaimana pengaruh oli bekas sebagai bahan peremaja *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* pada campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 dengan serat rami terhadap *Index of Retained Stregth (IRS)*?
3. Bagaimana pengaruh oli bekas sebagai bahan peremaja *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* pada campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 dengan serat rami terhadap *Indirect Tensile Strength (ITS)*?

4. Bagaimana pengaruh oli bekas sebagai bahan peremaja *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* pada campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 dengan serat rami terhadap uji *Cantabro*?
5. Berapakah kadar oli bekas sebagai peremaja *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* pada campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 dengan serat rami yang disarankan?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh oli bekas sebagai bahan peremaja pada *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 dengan serat rami.
2. Mengetahui pengaruh oli bekas sebagai bahan peremaja pada *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* pada campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 dengan serat rami terhadap *Index of Retained Strength (IRS)*.
3. Mengetahui pengaruh oli bekas sebagai bahan peremaja pada *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* pada campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 dengan serat rami terhadap *Indirect Tensile Strength (ITS)*.
4. Mengetahui pengaruh oli bekas sebagai bahan peremaja *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* pada campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 dengan serat rami terhadap uji *Cantabro*.
5. Mengetahui kadar oli bekas sebagai peremaja pada *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* pada campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 dengan serat rami yang disarankan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh penambahan oli bekas sebagai bahan peremaja pada *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* terhadap karakteristik campuran aspal bergradasi *Split Mastic Asphalt (SMA)* dengan serat rami (*Boehmeria Nivea*). Manfaat lain dari penelitian ini yaitu pemanfaatan limbah berupa *RAP* dengan oli bekas sebagai peremaja yang dapat digunakan kembali sebagai bahan campuran beton aspal baru sehingga dapat meminimalisir

penggunaan material agregat dan aspal baru dan membantu penyelesaian yang terjadi di konstruksi jalan.

Manfaat lain dari penelitian ini secara praktis adalah dapat diterapkan di lapangan metode aspal daur ulang dengan oli bekas pakai sebagai peremaja yang nantinya perkerasan dengan daya tahan tinggi dapat memikul beban kendaraan yang berat.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Campuran aspal yang digunakan untuk penelitian ini adalah jenis *Split Mastic Asphalt (SMA)* grade 0/11.
2. Bahan ikat aspal yang digunakan adalah aspal Pertamina Pen 60/70.
3. Agregat yang digunakan adalah agregat kasar berupa batu pecah dan agregat halus berupa pasir diperoleh dari Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
4. Serat selulosa yang digunakan adalah serat rami yang diperoleh dari Penjual Bahan Pengerajin Bantul, Yogyakarta (Tidak diperiksa).
5. Bahan *RAP* diperoleh dari *Core Milling* atau pengerukan pada jalan Wates – Kulon Progo.
6. Oli bekas yang digunakan berasal dari bengkel kendaraan bermotor yang berada di daerah Condongcatur, Sleman, D. I. Yogyakarta (Tidak diperiksa).
7. Persentase penggunaan *RAP* sebesar 25% dari total campuran sesuai dengan *Asphalt Institute* 1993 yaitu sekitar 10% -35%.
8. Persentase penggunaan oli bekas sebagai bahan peremaja adalah 0%, 2%, 3%, 4%, dan 5% dari berat aspal lama pada *RAP*.
9. Pengujian karakteristik *Marshall*, *IRS*, *ITS*, dan *Cantabro* dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengaruh Penggunaan *RAP* dengan *Rejuvenator*

Penelitian mengenai metode daur ulang terhadap perkerasan lama, salah satunya adalah dengan menambahkan bahan peremaja (*rejuvenator*) untuk mengembalikan sifat dan karakteristik aspal lama mendekati aspal baru.

Menurut Qiu,dkk (2013) *rejuvenator* merupakan suatu peremaja bahan pengikat untuk *RAP*, dimana di dalamnya terkandung dan tersusun senyawa aromatik ringan untuk menggantikan senyawa aromatik ringan yang menguap atau teroksidasi pada *RAP*. Kemampuan senyawa aromatik ringan dari *rejuvenator* harus dapat menembus lapisan aspal dan berdifusi pada *RAP* sehingga dapat merekonstruksi aspal yang telah menua menjadi bahan lapis perkerasan baru.

Pelaksanaan daur ulang aspal dengan *rejuvenator* yang berbeda-beda akan memberikan perubahan terhadap karakteristik aspal yang berbeda-beda pula tetapi tujuan utama proses daur ulang adalah sama yaitu untuk memperbaiki sifat serta karakteristik aspal lama yang berkurang atau hilang sehingga aspal lama yang didaur ulang dapat kembali digunakan untuk melayani lalu-lintas. Berikut merupakan penelitian terdahulu yang menjadi acuan dalam penelitian yang dilakukan.

2.1.1 Penggunaan Solar Sebagai Peremaja *RAP* Pada Campuran *AC – WC*

Penelitian ini dilakukan oleh Kasan (2009), yaitu untuk mengetahui karakteristik stabilitas dan durabilitas campuran beton aspal lama yang di daur ulang menggunakan peremaja solar. Variasi kadar bahan peremaja yang digunakan 0 %, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai stabilitas dan durabilitas akan menurun seiring bertambahnya kadar bahan peremaja dalam campuran aspal daur ulang namun masih memenuhi spesifikasi stabilitas yang disyaratkan.

2.1.2 Pengaruh Asbuton Terhadap *RAP* dengan Peremaja Oli Bekas dan Solar

Penelitian yang dilakukan oleh Sumantri,dkk (2014), yaitu menguji tentang pengaruh peremaja oli bekas dan solar terhadap karakteristik *Marshall* berupa stabilitas dan *flow*. Proporsi bahan peremaja (oli bekas : solar) sebesar 0:100, 25:75, 50:50, 75:25, 100:0 dan kadar peremaja yang digunakan sebesar 2%, 4%, 6%, 8% dan 10%, sedangkan kadar asbuton yang dipakai sebesar 3%, 6%, 9%, 12% dengan waktu peraman selama 4 hari, dari penelitian yang dilakukan maka didapatkan hasil kadar peremaja optimum berada pada kadar 2,93%, dengan besar proporsi campuran antara oli bekas dan solar sebanyak 75:25 dan nilai stabilitas maksimumnya 236,17 kg.

2.1.3 Penggunaan Minyak Goreng Curah Nabati, Oli SAE 10, dan *RejRE* Sebagai Peremaja *RAP*

Penelitian yang dilakukan Nono (2016), yaitu membandingkan antara kinerja campuran beraspal yang menggunakan *RAP* dan peremaja dengan yang tidak menggunakan peremaja, serta membandingkan juga terhadap ketiga kinerja campuran beraspal panas yang menggunakan peremaja menggunakan metode skala laboratorium. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *RAP* dalam campuran beraspal panas yang tanpa peremaja adalah maksimum 10% sedangkan campuran beraspal panas dengan *RAP* sampai dengan 30% dan menggunakan peremaja *RejIRE* adalah yang memiliki kinerja yang terbaik karena tidak rentan terhadap terjadinya deformasi dan fatik.

2.1.4 Penggunaan Minyak Goreng Bekas Sebagai Peremaja *RAP* Pada Campuran *Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11*

Penelitian yang dilakukan oleh Alfathli (2019), yaitu meneliti tentang pengaruh minyak goreng bekas sebagai bahan peremaja *RAP* pada campuran aspal bergradasi *Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11* terhadap karakteristik *Marshall*, *IRS*, *ITS*, *Cantabro*, dan Permeabilitas. Dari hasil penelitian diperoleh kadar penambahan minyak goreng bekas pakai sebagai bahan peremaja direkomendasikan pada rentang 4,2% hingga 5,7% dengan kadar peremaja optimum sebesar 4,95% terhadap berat aspal pada material *RAP*.

2.2 Pengaruh RAP Terhadap Campuran Split Mastic Asphalt (SMA)

Penambahan bahan RAP dan peremaja untuk campuran beton aspal sudah banyak dilakukan dengan jenis campuran yang berbeda-beda, salah satu campuran aspal yang digunakan adalah *Split Mastic Asphalt (SMA)*. Berikut adalah beberapa penelitian yang menggunakan campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)*.

2.2.1 Penggunaan RAP dan Serat Dedak Padi Pada Campuran SMA

Penelitian ini dilakukan oleh Sulistia (2017), di mana Sulistia meninjau pengembangan campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* menggunakan bahan RAP dengan *filler* yaitu serat selulosa alami dedak padi. Hasil penelitian ini yaitu semakin besar kadar RAP dan dedak padi maka nilai *Marshall Quotient (MQ)* akan menurun, tetapi nilai *flow* meningkat sehingga campuran tersebut akan mengalami deformasi yang cukup tinggi bila menerima beban kendaraan yang berat.

2.2.2 Pengaruh Campuran Aspal Bergradasi Senjang (AASHTO M 325 - 08)

Terhadap Selulosa Rami (*Boehmeria Nivea*)

Penelitian ini dilakukan oleh Labillardieri (2018), di mana penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah selulosa tanaman Rami dapat meningkatkan kadar aspal dalam campuran bergradasi senjang. Dari hasil penelitian diperoleh penggunaan selulosa Rami berpengaruh terhadap kenaikan kadar aspal optimum. Namun semakin tinggi penambahan selulosa maka ada beberapa parameter *Marshall* yang lepas tidak sesuai dengan spesifikasinya. Dari kelima kadar selulosa, kadar 0,1% dan 0,2% saja yang memenuhi keseluruhan parameter *Marshall*.

2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Perbedaan penelitian yang dilakukan dengan penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1 yang meliputi beberapa parameter antara lain judul penelitian, tujuan penelitian, peremaja yang dipakai, jenis aspal, pengujian dan hasil penelitian.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Penulis

No	Parameter	Peneliti					
		Kasan (2009)	Sumantri,dkk (2014)	Sulistia (2017)	Labillardieri (2018)	Alfathli (2019)	Penulis
1	Judul Penelitian	Karakteristik Stabilitas Dan Stabilitas Sisa Campuran Beton Aspal Daur Ulang	Pengaruh Peremaja Oli Bekas Dan Solar Terhadap Karakteristik <i>Marshall</i> Perkerasan Daur Ulang Dengan Asbuton	Pengembangan Campuran <i>Split Mastic Asphalt (SMA)</i> Menggunakan Bahan <i>Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)</i> dengan Serat Selulosa Alami Dedak Padi	Pengaruh Penggunaan Selulosa Rami (<i>Boehmeria Nivea</i>) Pada Campuran Aspal Bergradasi Senjang (AASHTO M 325 - 08)	Pengaruh Minyak Goreng Bekas Sebagai Bahan Peremaja <i>Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)</i> Terhadap Campuran Aspal Bergradasi <i>Split Mastic Asphalt (SMA)</i> 0/11	Pengaruh Oli Bekas Sebagai Bahan Peremaja <i>Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)</i> Terhadap Campuran <i>Split Mastic Asphalt (SMA)</i> 0/11 Dengan Serat Rami (<i>Boehmeria Nivea</i>)
2	Tujuan Penelitian	Mengetahui karakteristik campuran beton aspal lama yang didaur ulang ditinjau dari karakteristik stabilitas dan durabilitasnya	Mengetahui pengaruh peremaja oli bekas dan solar terhadap karakteristik <i>Marshall</i> berupa stabilitas dan <i>flow</i>	Mengetahui kinerja campuran <i>SMA</i> menggunakan bahan <i>RAP</i> dengan filler dedak padi	Mengetahui apakah selulosa tanaman Rami dapat meningkatkan kadar aspal dalam campuran bergradasi senjang	Mengetahui pengaruh minyak goreng bekas sebagai bahan peremaja <i>RAP</i> pada campuran aspal bergradasi <i>Split Mastic Asphalt (SMA)</i> 0/11 terhadap karakteristik <i>Marshall</i> , <i>IRS</i> , <i>ITS</i> , <i>Cantabro</i> , dan Permeabilitas	Mengetahui pengaruh oli bekas sebagai bahan peremaja <i>RAP</i> pada campuran <i>Split Mastic Asphalt (SMA)</i> 0/11 dengan serat rami terhadap karakteristik <i>Marshall</i> , <i>IRS</i> , <i>ITS</i> , dan <i>Cantabro</i>

Sumber: Kasan (2009), Sumantri,dkk (2014), Sulistia (2017), Labillardieri (2018), Alfathli (2019)

Tabel 2.1 Lanjutan Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Penulis

No	Parameter	Peneliti					
		Kasan (2009)	Sumantri,dkk (2014)	Sulistia (2017)	Labillardieri (2018)	Alfathli (2019)	Penulis
3	Jenis Campuran	LASTON AC-WC	Asbuton	<i>Split Mastic Asphalt (SMA)</i>	<i>Split Mastic Asphalt (SMA)</i>	<i>Split Mastic Asphalt (SMA)</i>	<i>Split Mastic Asphalt (SMA)</i>
4	Jenis Aspal	Aspal pen 60/70	Aspal pen 60/70	Aspal pen 60/70	Aspal pen 60/70	Aspal pen 60/70	Aspal pen 60/70
5	Bahan Campuran	<i>Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)</i> , Material baru	Material baru	<i>Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)</i> , Material baru	Material baru	<i>Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)</i> , Material baru	<i>Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)</i> , Material baru
6	Bahan Peremaja	Solar	Oli Bekas, Solar	-	-	Minyak Goreng Bekas	Oli Bekas
7	Serat Selulosa	-	-	Dedak Padi	Selulosa Rami	Dedak Padi	Selulosa Rami
8	Metode Penelitian	Pengujian <i>Marshall</i>	Pengujian <i>Marshall</i>	Pengujian <i>Marshall</i>	Pengujian <i>Marshall</i>	Pengujian <i>Marshall</i> , <i>IRS</i> , <i>ITS</i> , <i>Cantabro</i> , dan Permeabilitas	Pengujian <i>Marshall</i> , <i>IRS</i> , <i>ITS</i> , dan <i>Cantabro</i>

Sumber: Kasan (2009), Sumantri,dkk (2014), Sulistia (2017), Labillardieri (2018), Alfathli (2019)

Tabel 2.1 Lanjutan Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Penulis

No	Parameter	Peneliti					
		Kasan (2009)	Sumantri,dkk (2014)	Sulistia (2017)	Labillardieri (2018)	Alfathli (2019)	Penulis
9	Hasil Penelitian	Semakin banyak bahan peremaja dalam campuran aspal daur ulang akan menyebabkan menurunnya nilai stabilitas dan nilai kepadatan pada campuran	Kadar peremaja optimum pada kadar 2,93 % proporsi peremajanya pada komposisi 75 : 25 (oli bekas : solar) dengan hasil nilai stabilitas maksimumnya 236,17 kg. stabilitas benda uji masuk kriteria untuk LATASIR yaitu 200 kg	Semakin besar kadar <i>RAP</i> dan dedak padi maka nilai <i>Marshall Quotient (MQ)</i> akan menurun	Penggunaan selulosa Rami berpengaruh terhadap kenaikan kadar aspal optimum. Namun semakin tinggi penambahan selulosa maka ada beberapa parameter <i>Marshall</i> yang lepas tidak sesuai dengan spesifikasinya. Dari kelima kadar selulosa, kadar 0,1% dan 0,2% saja yang memenuhi keseluruhan parameter <i>Marshall</i>	Kadar penambahan minyak goreng bekas pakai sebagai bahan peremaja direkomendasikan pada rentang 4,2% hingga 5,7% dengan kadar peremaja optimum sebesar 4,95% terhadap berat aspal pada material <i>RAP</i>	

Sumber: Kasan (2009), Sumantri,dkk (2014), Sulistia (2017), Labillardieri (2018), Alfathli (2019)

2.4 Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Penulis

Perbedaan penelitian yang dilakukan pada Tugas Akhir ini dengan penelitian sebelumnya adalah pemanfaatan bahan *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* yang berasal dari *Core Milling* atau pengerukan pada jalan Wates – Kulon Progo, Yogyakarta. Penggunaan bahan peremaja oli bekas pakai dengan persentase 0%, 2%, 3%, 4%, dan 5%. Parameter yang ditinjau pada penelitian ini adalah karakteristik *Marshall*, *IRS*, *ITS*, dan *Cantabro* terhadap karakteristik campuran *Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11* dengan serat selulosa rami (*Boehmeria Nivea*).



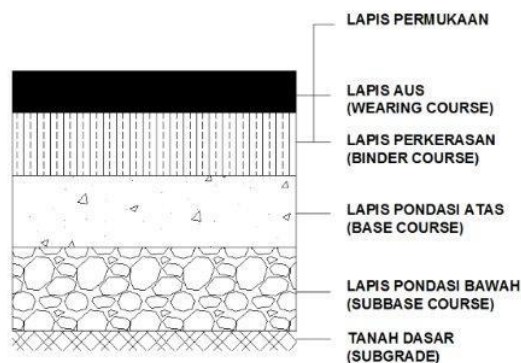
BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Jalan

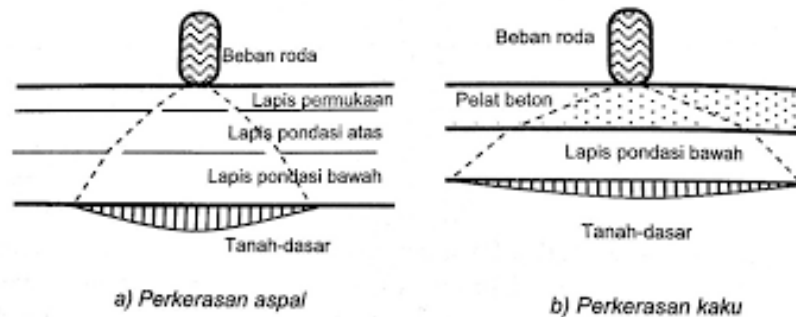
Perkerasan jalan dapat didefinisikan sebagai campuran antara agregat berupa batu pecah, batu belah, atau batu kali yang diikat dengan bahan pengikat berupa aspal yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas. Perkerasan jalan terdiri umumnya dari lapis permukaan (*surface course*), lapis pondasi atas (*base course*), lapis pondasi bawah (*subbase course*), lapis tanah dasar (*subgrade*).

Sukirman (1999) dalam bukunya Perkerasan Lentur Jalan Raya membagi jenis perkerasan berdasarkan bahan pengikatnya menjadi 3 yaitu:

1. Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar,
2. Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikat. Pelat beton dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton, dan
3. Konstruksi perkerasan komposit (*composit pavement*), yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku, atau perkerasan kaku di atas perkerasan lentur.



Gambar 3.1 Struktur Lapis Permukaan Jalan
(Sumber: Sukirman, 1999)



Gambar 3.2 Penyebaran Beban Roda Pada Lapis Perkerasan Jalan

(Sumber: Prasetyo, 2012)

3.2 *Split Mastic Asphalt (SMA)*

Split Mastic Asphalt (SMA) merupakan campuran dengan gradasi senjang (*gap graded*) yang mengandung sebagian besar agregat kasar, dan membentuk kerangka yang efisien untuk penyebaran beban. Agregat kasar diikat bersama-sama oleh *mastic*, yang mengandung bahan pengisi (*filler*), serat (*fiber*) dan polimer dengan lapisan aspal yang cukup tebal (Mustofa, 2016).

Menurut Sukirman (2003) *Split Mastic Asphalt (SMA)* adalah aspal beton bergradasi terbuka dengan selimut aspal yang tebal. Campuran *SMA* mengandung bahan yang tahan terhadap deformasi, permukaan bahan tahan lama, dan cocok untuk perkerasan jalan dengan lalu lintas yang tinggi. *SMA* memiliki kandungan agregat kasar tinggi dengan *interlock* yang baik untuk membentuk kerangka batu yang tahan deformasi permanen dan air. Terdapat 3 jenis *SMA* yaitu:

1. *SMA 0/5* dengan tebal perkerasan 1,5 – 3 cm untuk pemeliharaan dan perbaikan setempat seperti perbaikan deformasi pada jalur roda ban (*Rutting*),
2. *SMA 0/8* dengan tebal perkerasan 2 – 4 cm untuk pelapisan *overlay* pada jalan lama, dan
3. *SMA 0/11* dengan tebal perkerasan 3 – 5 cm untuk lapis aus (*Wearing Course*) pada jalan baru.

Pada penelitian ini campuran yang digunakan adalah *Split Mastic Asphalt* (SMA) 0/11. Menurut Chairussyah (2011) *Split Mastic Asphalt* (SMA) 0/11 merupakan campuran agregat panas bergradasi terbuka dengan bahan tambah serat selulosa. Adapun persyaratan campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) 0/11 dapat dilihat pada Table 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Persyaratan Campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) 0/11

No	Jenis Pemeriksaan	<i>Split Mastic Asphalt</i>	
		Minimum	Maksimum
1	Stabilitas (kg)	670	-
2	<i>Flow</i> (mm)	2	4
3	<i>Marshall Quotient</i> (Kn/mm)	1,9	3,0
4	<i>VITM</i> (%)	3	5
5	Kadar aspal efektif (%)	6	-
6	Kadar penyusutan aspal (%)	-	1,5
7	Kadar aspal total (%)	6,5	-
8	Kandungan serat selulosa (%) (% total campuran dalam serat)	0,3	
9	Stabilitas <i>Marshall</i> setelah perendaman 18 jam pada 60°C (% dari stabilitas aspal) (kg)	75	-

Sumber: Puslitbang Jalan (1999)

3.3 Agregat

Agregat merupakan material granular seperti kerikil, batu belah dan batu pecah yang dipakai bersama dengan bahan pengikat untuk membentuk suatu campuran perkerasan. Pada perkerasan jalan campuran agregat yang digunakan adalah agregat halus dan agregat kasar berdasarkan ukurannya.

Menurut Sukirman (2003) agregat merupakan komponen penyusun perkerasan dengan berat 90-95% total berat perkerasan atau 75-85% volume total perkerasan sehingga peran agregat dalam menciptakan perkerasan yang ditargetkan sangat berpengaruh.

Agregat harus memiliki sifat dan kualitas yang baik dalam menahan beban lalu lintas yang akan melaluinya, secara umum sifat agregat dapat dikelompokkan menjadi:

1. kekuatan serta keawetan; dipengaruhi oleh tekstur permukaan, gradasi, ukuran butir, kadar lempung serta kekerasan dan ketahanan,
2. kemampuan diselimuti oleh aspal; faktor yang mempengaruhi kemampuan agregat diselimuti oleh aspal adalah porositas, yaitu kemampuan penyerapan agregat serta jenis agregat, dan
3. *workability* yaitu kemudahan dalam pengerjaan sangat dipengaruhi oleh komposisi dari campuran agregat yang dipakai, semakin baik komposisi yang dipakai maka semakin mudah pengerjaannya dan sebaliknya.

Komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75 – 85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. Berdasarkan besar partikel-partikelnya agregat dibagi kedalam tiga jenis yaitu:

1. Agregat halus, yaitu agregat lolos saringan No. 4 dengan diameter saringan 4,75 mm terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah,
2. Agregat kasar, yaitu agregat tertahan saringan No. 4 dengan diameter saringan 4,75 mm, dan
3. Bahan pengisi (*filler*), yaitu bahan pengisi yang lolos saringan No. 200 dengan diameter saringan 0,075 mm dan tidak kurang dari 95% terhadap beratnya.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu ketentuan agregat kasar dan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.2 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Berat Jenis		SNI 1969:2008	Min.2,5
Penyerapan air agregat kasar		SNI 1969:2008	Maks.3%
Abrasi dengan mesin Los Angeles ¹⁾	Campuran AC Modifikasi	100 putaran	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	Min.95%

Sumber: Bina Marga (2010)

Tabel 3.3 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
<i>Sand Equivalent</i>	SNI 03-4428-1997	Min.50%
Berat Jenis	SNI 1970:2008	Min.2,5
Penyerapan air agregat halus	SNI 1970:2008	Maks.3%

Sumber: Bina Marga (2010)

Dalam perencanaan campuran perkerasan, gradasi agregat merupakan hal terpenting yang perlu diperhatikan. Gradasi agregat sendiri adalah distribusi dari variasi ukuran agregat yang mana gradasi ini sangat berpengaruh terhadap besarnya rongga dalam campuran, stabilitas dan *workability* dari campuran. Gradasi agregat dapat dibedakan menjadi 3 jenis, antara lain:

1. Gradasi seragam / menerus (*uniform graded*), yaitu gradasi agregat dengan ukuran yang hampir sama. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka (*open graded*) karena hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga terdapat banyak rongga atau ruang kosong antar agregat.
2. Gradasi rapat / baik (*dense graded*), yaitu campuran agregat kasar dan halus dalam porsi yang berimbang. Agregat dengan gradasi rapat akan

menghasilkan lapis perkerasan dengan stabilitas tinggi, kedap air, berat volume besar.

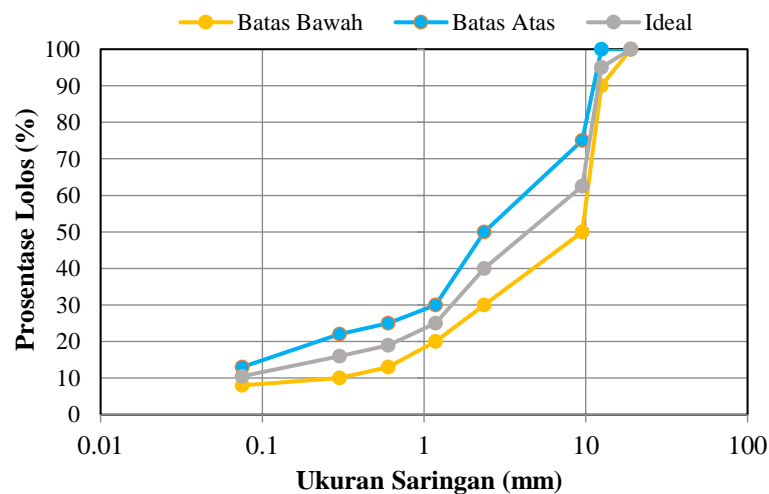
3. Gradasi senjang / timpang (*poorly graded*), yaitu campuran agregat dengan satu fraksi hilang atau sedikit sekali. Agregat bergradasi senjang umumnya digunakan untuk lapisan perkerasan lentur yaitu gradasi celah (*gap graded*). Agregat dengan gradasi senjang menghasilkan lapis perkerasan yang mutunya terletak di antara kedua jenis di atas.

Berikut adalah rancangan gradasi *Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11* pada Tabel 3.4 dan Gambar 3.3.

Tabel 3.4 Gradasi Agregat *Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11*

No	Ukuran Saringan		Spesifikasi Lolos Saringan (%)	
	mm		Range	Ideal
1	19	$\frac{3}{4}$ "	100	100
2	12,5	$\frac{1}{2}$ "	90-100	95
3	9,5	$\frac{3}{8}$ "	50-75	62,5
4	4,75	No. 4	30-50	40
5	2,36	No. 8	20-30	25
6	0,6	No.30	13-25	19
7	0,3	No. 50	10-22	15
8	0,075	No. 200	8-12	10,5

Sumber: Bina Marga (1983)



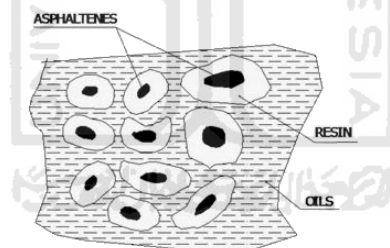
Gambar 3.3 Gradasi Agregat *Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11*

(Sumber: Bina Marga, 1983)

3.4 Aspal

Aspal adalah material termoplastik yang akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur bertambah. Sifat ini dinamakan kepekaan terhadap perubahan temperatur, yang dipengaruhi oleh komposisi kimiawi aspal walaupun mungkin mempunyai nilai penetrasi atau viskositas yang sama pada temperatur tertentu. Kepekaan terhadap temperatur akan menjadi dasar perbedaan umur aspal untuk menjadi retak ataupun mengeras. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan (Sukirman, 2003)

Aspal memiliki kandungan berupa *asphaltenes*, *maltenes*, *resin*, dan minyak lainnya. Proses oksidasi atau menguapnya bagian cair *asphaltenes* dan *maltenes* dari aspal semen menyebabkan berat aspal yang ada dalam campuran beton aspal menjadi berkurang yang berakibat kepada nilai *VFWA* menurun dan nilai *VITM* naik sehingga karakteristiknya menjadi kaku dan daya lekatnya berkurang. Berikut ilustrasi komposisi aspal dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Ilustrasi Komposisi Aspal

(Sumber: Sukirman, 2003)

Aspal keras/cement (AC) atau sering disebut aspal padat terdiri dari beberapa jenis aspal semen tergantung dari proses pembuatannya dan jenis asal dari minyak bumi. Berdasarkan nilai penetrasi dan nilai viskositasnya aspal keras/cement (AC) dibedakan sebagai berikut ini.

1. Aspal penetrasi rendah 40 / 55, digunakan untuk kasus: Jalan dengan volume lalu lintas tinggi, dan daerah dengan cuaca iklim panas,
2. Aspal penetrasi rendah 60 / 70, digunakan untuk kasus: Jalan dengan volume lalu lintas sedang atau tinggi, dan daerah dengan cuaca iklim panas,

3. Aspal penetrasi tinggi 80 / 100, digunakan untuk kasus: Jalan dengan volume lalu lintas sedang / rendah, dan daerah dengan cuaca iklim dingin, dan
4. Aspal penetrasi tinggi 100 / 110, digunakan untuk kasus: Jalan dengan volume lalu lintas rendah, dan daerah dengan cuaca iklim dingin.

Di Indonesia pada umumnya jenis aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 dan 80/100. Berikut adalah ketentuan-ketentuan aspal padat yang dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Ketentuan-ketentuan Aspal

No	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen 60-70
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60 - 70
2	Titik Lembek (°C)	SNI 06-2434-1991	≥ 48
3	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 06-2432-1991	≥ 100
4	Titik Nyala (°C)	SNI 06-2433-1991	≥ 232
5	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	SNI 06-2438-1991	≥ 99
6	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	≥ 1,0

Sumber: Bina Marga (2010)

3.5 Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)

Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) merupakan limbah sisa dari perkerasan jalan yang telah rusak atau umur rencananya sudah habis. Umumnya *RAP* memiliki kekurangan pada kualitasnya dikarenakan reologi aspal telah teroksidasi dan mempunyai kelelahan, sehingga aspal pada *RAP* mengeras (O'Sullivan 2011), oleh karena itu untuk mengembalikan sifat dari aspal lama diperlukan bahan peremaja (*rejuvenator*), namun demikian penggunaan *RAP* tetap harus dibatasi sebagai tambahan material, beberapa negara di Eropa telah membatasi penggunaan *RAP* sebagai material tambah, menurut *Asphalt Institute* 1993 proporsi penggunaan *RAP* dalam campuran beraspal panas adalah sekitar 10%-35%.



Gambar 3.5 Matreial RAP

3.6 Bahan Peremaja (*Rejuvenator*)

Rejuvenator merupakan suatu peremaja bahan pengikat untuk *RAP*, di mana didalamnya terkandung dan tersusun senyawa aromatik ringan, untuk menggantikan senyawa aromatik ringan yang menguap atau teroksidasi pada *RAP* sehingga dapat mengembalikan sifat-sifat bahan pengikat pada *RAP* dan meningkatkan sifat-sifat campuran aspal yang mengandung *RAP*. *Rejuvenator* harus dapat menembus lapisan aspal dan berdifusi pada *RAP* sehingga dapat merekonstruksi aspal yang telah menua menjadi bahan lapis perkerasan baru (Qiu,dkk 2013).

Pada penelitian ini digunakan bahan peremaja berupa oli bekas, oli bekas dapat didefinisikan sebagai oli limbah yang berasal dari berbagai jenis oli bekas penggunaan kendaraan bermotor. Bila ditinjau dari komposisi dan karakteristiknya oli terbuat dari *crude oil* yang mengandung bahan hidro karbon, paraffin, dan resin serta mampu bekerja pada suhu rendah dan tinggi.

Oli bekas merupakan salah satu jenis dari limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) sehingga apabila tidak dikelola dengan baik dapat membahayakan serat merusak bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Untuk itu perlu penanganan yang tepat agar limbah oli bekas dapat bermanfaat dan menguntungkan.

Menurut Boentarto (2003), berdasarkan jenis base oilnya minyak pelumas diklasifikasikan menjad 2 sebagai berikut.

1. Oli mineral, yaitu terbuat dari *crude oil* yang mengandung bahan hidro karbon dan paraffin yang cukup tinggi.

2. Oli Sintetis, merupakan hasil dari perpaduan beberapa senyawa kimia. Oli sintetis lebih baik daripada oli mineral karena bisa tahan bekerja pada suhu rendah dan suhu tinggi.

3.7 Serat Rami (*Boehmeria Nivea*)

Tanaman rami atau dalam bahasa latinya *Boehmeria nivea* merupakan tanaman tahunan berumpun yang menghasilkan serat dari kulit kayunya dan termasuk ke dalam kelompok serat batang. Secara kimia rami diklasifikasikan ke dalam jenis serat selulosa sama seperti kapas, linen, hemp dan lain-lain.

Serat rami umumnya digunakan sebagai kain pakaian berkualitas tinggi atau perlengkapan militer, karena memiliki kekuatan paling tinggi dibanding dengan serat lainnya namun memiliki kehalusan serat (*dyener*) seperti serat kapas.

Susunan molekul serat rami berbentuk penampang melintangnya bulat dan ditengahnya terdiri dari fibril selulosa secara penuh dan tidak terdapat celah (lumen) didalamnya. Struktur kristalinitas, orientasi polimer, bentuk fibril, dan arah puntiran dari serat rami dapat mempengaruhi sifat fisik dan termal. Keseragaman konstruksi dapat mempengaruhi kekompakan pada berbagai suhu, baik pada suhu tinggi maupun rendah selama belum terjadi kerusakan (degradasi) polimer. (Christophe Baley, 2007)

Berikut adalah sifat fisik, kimia, dan mekanik serat rami dapat dilihat pada Tabel 3.6 dan Gambar 3.6.

Tabel 3.6 Sifat Fisik, Kimia, dan Mekanik Serat Rami

No	Karakteristik	Nilai
1	Diameter (μm)	40-60
2	Panjang (mm)	120 – 150
3	Modulus Elastisitas (Gpa)	44 – 90
4	Massa Jenis (g/cm^3)	1,5 – 1,6
5	Regangan Maksimum (%)	2
6	Spesifik Kekuatan Serat (kg/mm^2)	95
7	Selulosa (% berat)	68,6 – 76,2
8	Lignin (% berat)	0,6 – 0,7

Lanjutan Tabel 3.6 Sifat Fisik, Kimia, dan Mekanik Serat Rami

No	Karakteristik	Nilai
9	Hemiselulosa (% berat)	13,1 – 16,7
10	Pektin (% berat)	1,9
11	Lilin (% berat)	0,3
12	Sudut mikrofibril (°)	7,5
13	Kadar air (% berat)	8,0
14	Kerapatan (mg/m ³)	1,5

Sumber: Musaddad (2007)



Gambar 3.6 Serat Rami

3.8 Kinerja Campuran Beraspal

Untuk mengetahui kinerja dari suatu campuran maka diperlukan adanya parameter sebagai acuan dalam penilaian terhadap baik buruknya kinerja campuran yang dibuat. Kinerja campuran aspal beton dapat dilihat dari kelenturan, kekuatan, kelelahan, kemudahan pelaksanaan dan tahan terhadap air.

3.8.1 Tahanan Geser (*Skid Resistant*)

Tahanan geser adalah kemampuan perkerasan dalam memberikan kekesatan terhadap roda kendaraan sehingga menghindari terjadinya slip baik di waktu hujan, basah, maupun kering. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien geser antar permukaan jalan dan ban kendaraan. Faktor geser tinggi jika penggunaan kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi *bleeding*.

3.8.2 Kelenturan (*Flexibility*)

Kelenturan adalah kemampuan lapis perkerasan dalam menerima beban kendaraan berulang tanpa terjadinya retak serta perubahan volume sehingga dapat berdeformasi mengikuti beban kendaraan yang melaluinya. Fleksibilitas kemampuan aspal beton menyesuaikan akibat penurunan dan pergerakan pondasi atau tanah dasar tanpa terjadi retak, yaitu dengan cara berikut.

1. Penggunaan agregat bergradasi senjang sehingga diperoleh nilai *VMA* yang tinggi,
2. Penggunaan aspal lunak dengan penetrasi tinggi, dan
3. Penggunaan aspal yang cukup banyak agar diperoleh nilai *VITM* yang rendah.

3.8.3 Kemudahan Pekerjaan (*Workability*)

Kemudahan pekerjaan adalah kemudahan pelaksanaan pengerjaan penghamparan dan pemadatan campuran perkerasan sehingga diperoleh hasil yang sesuai dengan perencanaan yang dilakukan. Dalam perkerasan jalan lentur parameter yang mempengaruhi kemudahan dalam pelaksanaan berupa gradasi agregat dan temperatur campuran.

3.8.4 Ketahanan Kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapisan aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (*ruting*) dan retak. Nilai *VITM* yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan yang lebih cepat dan nilai *VMA* yang tinggi dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi fleksibel. Menurut Sukirman (2003), volumetrik beton aspal dapat diketahui dengan menggunakan beberapa parameter, yaitu volume bulk (*Vmb*), *VMA*, *VIM*, dan *VFWA*.

1. Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis yang diuji terdiri dari tiga jenis yaitu berat jenis bulk (*dry*), berat jenis bulk campuran (*density*), berat jenis maksimum (*theoritis*). Perbedaan

ketiga istilah ini disebabkan karena perbedaan asumsi kemampuan agregat menyerap air dan aspal.

a. Berat jenis *bulk* agregat

Berat jenis *bulk* adalah perbandingan antara berat bahan di udara (termasuk rongga yang cukup kedap dan yang menyerap air) pada satuan volume dan suhu tertentu dengan berat air suling serta volume yang sama pada suhu tertentu pula. Berat jenis *bulk* (G_{sb}) agregat total dapat dihitung dengan Persamaan 3.1.

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad (3.1)$$

dengan:

- G_{sb} : Berat jenis *bulk* total agregat,
 P_1, P_2, P_n : Persen berat masing-masing agregat, dan
 G_1, G_2, G_n : Persen berat jenis masing-masing agregat.

b. Berat jenis efektif agregat

Berat jenis efektif adalah perbandingan antara berat bahan di udara (tidak termasuk rongga yang menyerap aspal) pada satuan volume dan suhu tertentu dengan berat air destilasi dengan volume yang sama dan suhu tertentu pula. Berat jenis efektif agregat (G_{se}) termasuk semua rongga dalam partikel kecuali yang diserap oleh aspal dapat dihitung dengan Persamaan 3.2.

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \quad (3.2)$$

dengan:

- G_{se} : Berat jenis efektif total agregat,
 G_{mm} : Berat jenis maksimum campuran aspal (tanpa rongga),
 P_{mm} : Presentase berat total campuran yang belum padat = 100,

P_b : Kadar aspal, persen berat total dari campuran, dan

G_b : Berat jenis aspal.

c. Berat jenis maksimum campuran

Berat jenis maksimum campuran (G_{mm}) pada masing-masing kadar aspal diperlukan untuk menghitung kadar rongga masing-masing kadar aspal.

Berat jenis campuran dapat dilihat pada Persamaan 3.3.

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad (3.3)$$

dengan:

G_{mm} : Berat jenis maksimum campuran,

P_{mm} : Persentase berat total campuran yang belum padat = 100,

P_b : Kadar aspal, persen berat total dari campuran,

P_s : Kadar agregat persen terhadap berat total campuran,

G_{se} : Berat jenis efektif agregat, dan

G_b : Berat jenis aspal.

2. *Void in Mineral Agregate (VMA)*

Void in Mineral Agregate adalah banyaknya pori/rongga di antara butir-butir agregat di dalam aspal beton yang padat yang dinyatakan dalam presentase.

VMA akan meningkat jika selimut aspal lebih tebal atau agregat yang digunakan menggunakan gradasi terbuka. Adapun perhiungan nilai *VMA* dapat dilihat pada Persamaan 3.4 berikut.

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} - P_s}{G_{sb}} \quad (3.4)$$

dengan:

VMA : Volume pori antara agregat di dalam aspal beton padat, % dari volume bulk aspal beton padat,

G_{mb} : Berat jenis bulk dari aspal beton padat,

P_s : Kadar agregat, % terhadap aspal beton padat, dan

G_{sb} : Berat jenis bulk dari agregat pembentuk aspal beton padat.

3. *Void in The Mix (VITM)*

Void in The Mix adalah volume pori yang masih tersisa pada campuran aspalbeton yang dipadatkan yang dinyatakan dalam bilangan bulat. *VITM* merupakan indikator dari durabilitas dan kemungkinan *bleeding*. *VITM* dibutuhkan sebagai tempat bergesernya agregat akibat beban lalu lintas yang berulang atau tempat aspal yang melunak akibat perubahan temperatur. Adapun perhitungan nilai *VITM* dapat dilihat pada Persamaan 3.5 berikut.

$$VITM = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \quad (3.5)$$

$$G_{mm} = 100 \times \frac{A}{A - C} \quad (3.6)$$

$$G_{mb} = \frac{B_k}{B_{ssd} - B_a} \quad (3.7)$$

dengan:

VITM : Rongga udara di dalam campuran aspal padat, persen berat total dari campuran,

G_{mm} : Berat jenis maksimum dari campuran beton aspal yang belum dipadatkan,

G_{mb} : Berat jenis *bulk* dari campuran beton aspal padat,

A : Berat campuran beton aspal yang belum dipadatkan pada kondisi Kering (gr),

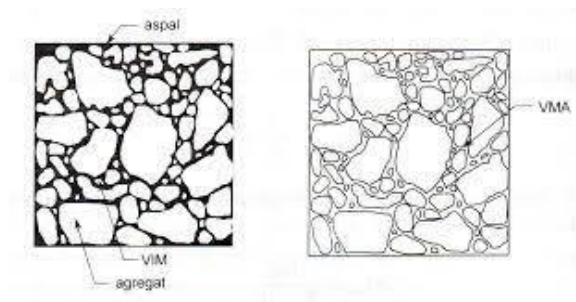
C : Berat campuran beton aspal yang belum dipadatkan di dalam air (gr),

B_k : Berat kering beton aspal padat (gr),

B_a : Berat volume aspal padat di dalam air (gr), dan

$B_{ssd} - B_a$: Volume *bulk* dari beton aspal padat, jika berat jenis air dianggap = 1.

Untuk ilustrasi *VMA* dan *VITM* dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut.



Gambar 3.7 Ilustrasi *VIM* dan *VMA*

(Sumber: Sukiman, 2003)

4. *Void Filled With Asphalt (VFWA)*

Void Filled With Asphalt adalah volume pori beton aspal yang terisi oleh aspal setelah proses pemadatan. Nilai *VFWA* dipengaruhi oleh temperatur dan jumlah pemadatan yang dilakukan serta kadar aspal dan gradasi agregat. Semakin besar nilai *VFWA* maka semakin banyak rongga yang terisi oleh aspal sehingga kedekatan terhadap air dan udaranya tinggi begitu sebaliknya. Adapun perhitungan nilai *VFWA* dapat dilihat pada Persamaan 3.8 berikut.

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

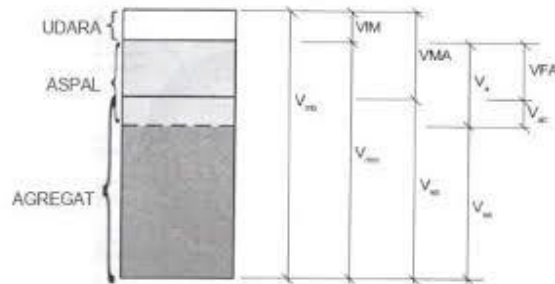
dengan:

VFWA : Volume pori antara butir agregat yang terisi aspal, % dari *VMA*.

VMA : Volume pori antara butir agregat di dalam beton aspal padat,
% dari volume bulk beton aspal padat, dan

VITM : Volume pori dalam beton aspal padat, % dari volume bulk beton aspal padat.

Untuk ilustrasi *VFWA* dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut.



Gambar 3.8 Ilustasi VFWA
(Sumber: Sukiman, 2003)

3.8.5 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan suatu lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap yaitu gelombang, alur, dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi dan beban lalu lintas yang akan dilayani oleh jalan tersebut. Nilai stabilitas dihasilkan oleh *interlocking* antar agregat dan daya ikat yang baik dengan aspal sebagai pengikat.

Nilai stabilitas dapat diketahui melalui pembacaan arloji stabilitas yang telah dikalibrasi pada pengujian *Marshall*. Adapun perhitungan nilai stabilitas dapat dilihat pada Persamaan 3.9 berikut.

$$qs = p \times q \times 0,4356 \quad (3.9)$$

dengan:

qs : Stabilitas (kg),

p : Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi *proving ring*,

q : Angka koreksi tebal benda uji, dan

0,4356 : Angka konversi *lbs* ke kg.

3.8.6 Kelelahan (*Flow*)

Flow menunjukkan besarnya penurunan atau deformasi perubahan bentuk yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya. Nilai *flow* diperoleh dengan pembacaan langsung pada alat uji dengan pembacaan jarum dial pada saat *Marshall Test* dengan satuan millimeter (mm).

3.8.7 Keawetan (*Durability*)

Keawetan adalah kemampuan lapisan perkerasan jalan untuk mencegah terjadinya perubahan pada aspal, kehancuran agregat, dan mengelupasnya selaput aspal pada batuan agregat akibat cuaca, air, suhu udara dan keausan akibat gesekan dengan roda kendaraan. Faktor yang mempengaruhi durabilitas suatu perkerasan adalah sebagai berikut.

1. Selimut aspal dapat menghasilkan lapis aspal beton yang durabilitasnya tinggi, tetapi memungkinkan terjadinya *bleeding* menjadi tinggi.
2. Nilai *VITM* kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi getas.
3. Nilai *VMA* besar sehingga selimut aspal dapat dibuat tebal. Jika nilai *VMA* dan *VITM* kecil dan kadar aspal tinggi memungkinkan terjadinya *bleeding* besar. Nilai *VMA* yang besar ini menggunakan agregat bergradasi senjang.

Durabilitas dapat diperoleh melalui proses perendaman pada aspal untuk mengetahui pengaruh air terhadap campuran perkerasan aspal. Adapun perhitungan nilai indeks stabilitas sisa (*IRS*) dapat dilihat pada Persamaan 3.10 berikut.

$$IRS = \frac{MS_i}{MS_s} \times 100 \quad (3.10)$$

dengan:

IRS : Indeks stabilitas sisa (%),

MS_i : Stabilitas *Marshall* perendaman (24 jam) (Kg), dan

MS_s : Stabilitas *Marshall* standar (1/2 jam) (Kg).

3.8.8 Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks Durabilitas Pertama dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.11 berikut.

$$IDP (r) = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{S_i - (S_{i+1})}{(t_1 + 1)^{i-1}} \times 100 \quad (3.11)$$

dengan:

r : Indeks Penurunan Stabilitas (%)

S_i : Persentase kekuatan sisa pada waktu *t_i* (%)

S_{i+1} : Persentase kekuatan sisa pada waktu t_{i+1} (%)

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.

3.8.9 Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Nilai IDK didapatkan dengan perhitungan yang menggunakan persamaan 3.12 sebagai berikut.

$$IDK (a) = \frac{1}{2tn} \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - (S_i + 1)) [2tn - (t_i + (t_i + 1))] \quad (3.12)$$

dengan:

a : Kehilangan Kekuatan Rerata Satu Hari (%)

t_n : Total Waktu Perendaman (jam)

S_i : Persentase kekuatan sisa pada waktu t_i (%)

S_{i+1} : Persentase kekuatan sisa pada waktu t_{i+1} (%)

T_i, t_{i+1} : Periode perendaman (dimulai dari awal pengujian)

Indeks durabilitas ini menggambarkan kehilangan kekuatan satu hari. Nilai "a" yang bernilai positif mengindikasikan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai "a" yang bernilai negatif menggambarkan adanya penambahan kekuatan. Berdasarkan definisi tersebut, maka nilai $a < 100$. Oleh karena itu, memungkinkan untuk dapat menyatakan persentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari (S_a). Dapat dihitung dengan persamaan 3.13 berikut.

$$S_a = (100 - a) \quad (3.13)$$

dengan:

S_a : Kekuatan Sisa Rerata Satu Hari (%)

Nilai Indeks Durabilitas Kedua juga dapat dinyatakan dalam bentuk nilai absolut dari ekuivalen kehilangan kekuatan dalam (kg) sebagai berikut.

$$A = a/100 \times S_0 \quad (3.14)$$

$$SA = (S_0 - A) \quad (3.15)$$

3.8.10 Kuat Tarik Tak Langsung (*Indirect Tensile Strength*)

Pengujian kuat tarik tak langsung atau *Indirect Tensile Strength Test (ITS)* adalah suatu metode untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran aspal beton. Pengujian dilakukan melalui pembebanan tunggal/berulang pada benda uji yang berbentuk silinder dan pembebanan sejajar dengan diameter vertikal dari benda uji sampai titik batas kerusakan yang diindikasikan dengan terjadinya retak (Hakim, 2004). Adapun perhitungan nilai *ITS* dapat dilihat pada Persamaan 3.16 berikut.

$$ITS = \frac{2 \times P_{maks}}{\pi \times d \times h} \quad (3.16)$$

dengan:

ITS : Indirect Tensile Strength (N/mm²),

*P*_{maks} : Pembebanan maksimum (N),

h : Tinggi rata-rata benda uji (mm), dan

d : Diameter benda uji (mm).

3.8.11 Kuat Tarik Tak Langsung Dengan Variasi Perendaman (*Tensile Strength Ratio*)

Pengujian tarik tak langsung yang dihasilkan dari variasi perendaman atau *Tensile Strength Ratio (TSR)* adalah suatu metode untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran aspal beton yang telah direndam dengan variasi perendaman tertentu. Nilai *TSR* dapat menggambarkan perkiraan kerentanan campuran terhadap air. Potensi kerusakan terhadap air diindikasikan dengan perbandingan antara nilai *ITS conditioned* (perendaman) dengan *unconditioned* (tanpa perendaman). Adapun perhitungan nilai *TSR* dapat dilihat pada Persamaan 3.17 berikut.

$$TSR = \frac{ITS_n}{ITS_o} \times 100 \quad (3.17)$$

dengan:

TSR : *Tensile Strength Ratio* (%),

*ITS*_{*n*} : Kekuatan tarik tak langsung dengan durasi perendaman *n* (N/mm²), dan

*ITS*_{*o*} : Kekuatan tarik tak langsung tanpa perendaman ((N/mm²).

3.8.12 Karakteristik *Cantabro*

Pengujian *Cantrabro* adalah suatu metode untuk mengetahui ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh beban lalu lintas yang berulang ulang yang akan menyebabkan perkerasan menjadi aus dan mengalami penurunan kekuatan. Untuk menggambarkan tingkat ketahanan benda uji terhadap disintegrasi dari akibat benturan dengan menggunakan mesin *Los Angeles* tanpa menggunakan bola baja. Adapun perhitungan nilai *Cantabro* dapat dilihat pada Persamaan 3.18 berikut.

$$CALi = \frac{(Mi_1 - Mi_2)}{Mi_1} \times 100 \quad (3.18)$$

dengan:

$CALi$: *Cantrabro Abrasion Loss (%)*,

Mi_1 : Berat mula-mula benda uji (*specimen*) (gr), dan

Mi_2 : Berat benda uji (*specimen*) setelah pengujian (gr).

3.8.13 *Marshall Quotient (MQ)*

Marshall Quotient adalah perbandingan antara stabilitas terhadap nilai kelelahan dalam suatu Kg/mm yang menunjukkan nilai fleksibilitas campuran aspal. Nilai *MQ* yang tinggi menunjukkan kekakuan lapis suatu perkerasan tinggi dan dapat mengakibatkan retak-retak pada permukaan perkerasan tersebut, sedangkan nilai *MQ* yang terlalu kecil mengakibatkan perkerasan mengalami deformasi yang besar bila menerima beban kendaraan (Sitanggang, 2007). Adapun perhitungan nilai *Marshall Quotient* dapat dilihat pada Persamaan 3.19 berikut.

$$MQ = \frac{qs}{r} \quad (3.19)$$

dengan:

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

qs : Stabilitas (kg), dan

r : *Flow* (mm).

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode penelitian adalah tata cara yang dilakukan oleh peneliti dalam penelitian suatu masalah, kasus, atau yang lain secara ilmiah untuk memperoleh hasil yang rasional. Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini berupa metode eksperimen, metode ini dilakukan dengan membuat sampel berdasarkan variabel terikat dan bebas yang telah ditentukan kemudian diuji untuk memperoleh data kemudian diolah dan dibandingkan dengan spesifikasi yang sudah ditentukan. Standar dan spesifikasi yang menjadi pedoman dalam penelitian ini adalah Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010.

4.2 Metode Pengambilan Data

Pada penelitian ini jenis metode pengambilan data primer dilakukan pengujian menggunakan benda uji dan data sekunder didapat dari penelitian-penelitian sebelumnya. Benda uji yang digunakan adalah *purposive sampling*, yaitu benda uji yang diambil berdasarkan tujuan penelitian sesuai dengan kriteria tertentu. Untuk memudahkan pengambilan data maka data dikelompokkan berdasarkan benda ujinya yaitu data stabilitas, *flow*, *density*, *Marshall Quotient (MQ)*, *VITM*, *VMA*, *VFWA*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Index of Retained Strength (IRS)* dan *Cantabro*.

4.3 Tahapan Penelitian

Penelitian mengenai Tugas Akhir penulis dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Adapaun tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

4.3.1 Persiapan dan Pemeriksaan Material

Pada penelitian ini material yang digunakan dalam pembuatan benda uji adalah agregat bergradasi *Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11* dan aspal Pertamina Pen 60/70 sedangkan serat selulosa yang digunakan berupa serat rami (*boehmeria nivea*). Material yang digunakan terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan material untuk mengetahui kelayakan material tersebut telah sesuai dengan spesifikasi atau standar yang telah ditentukan. Pemeriksaan ini berpedoman pada SNI, *ASTM* dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010. Adapun pemeriksaan material untuk agregat dan aspal sebagai berikut.

1. Pengujian Agregat.

a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar (SNI 1970:2008)

Pemeriksaan ini memiliki tujuan untuk menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry*) dan berat jenis semu (*Apparent Specific Gravity*) serta penyerapan dari agregat kasar.

b. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus (SNI 1970:2008)

Pemeriksaan ini memiliki tujuan untuk menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry*) dan berat jenis semu (*Apparent Specific Gravity*) serta penyerapan dari agregat halus.

c. Pemeriksaan kelekatan agregat oleh aspal (SNI 06-2439-1991)

Pemeriksaan ini memiliki tujuan untuk menentukan kelekatan agregat oleh aspal. Kelekatan agregat oleh aspal ialah persentase luas permukaan batuan yang tertutup aspal terhadap luas keseluruhan permukaan.

d. Pemeriksaan keausan agregat dengan mesin *Los Angeles* (SNI 2417 : 2008)

Pemeriksaan ini memiliki tujuan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*.

e. Pengujian *Sand Equivalent* (SNI 3423 : 2008)

Pemeriksaan ini memiliki tujuan untuk menentukan kadar debu atau lumpur atau bahan yang mempunyai lempung pada tanah atau agregat halus.

f. Pengujian analisa saringan agregat halus dan kasar

Pemeriksaan ini memiliki tujuan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan kasar dengan menggunakan saringan.

2. Pengujian Aspal

a. Pengujian berat jenis aspal (SNI 06-2441-1991)

Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan volume yang sama pada suhu tertentu. Berat jenis aspal diperlukan dalam perencanaan campuran untuk menentukan kadar aspal dalam campuran.

b. Pengujian penetrasi aspal (SNI 06-2456-1991)

Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal keras atau lembek (solid atau semi solid) dengan memasukkan jarum ukuran tertentu dengan beban dan waktu tertentu kedalam aspal pada suhu tertentu.

c. Pengujian titik lembek (SNI 06-2434-1991)

Pengujian ini memiliki tujuan untuk menentukan titik lembek aspal dan temperatur yang berkisar antara 30° C sampai 200°C.

d. Pengujian daktalitas (SNI 06-2432-1991)

Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui sifat kohesi aspal dengan cara mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi aspal keras sebelum putus pada suhu dan kecepatan tarik tertentu.

e. Pengujian titik nyala dan titik bakar (SNI 06-2433-1991)

Pengujian ini memiliki tujuan untuk menentukan suhu saat aspal terlihat menyala singkat di permukaannya (titik nyala) dan suhu saat terlihat menyala sekurang-kurangnya 5 detik (titik bakar).

f. Pengujian kelarutan dalam *Tetra Chloride* atau *Trichloroethylene* (SNI 06 - 2438-1991)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar aspal yang larut dalam karbon tetraklorida/karbon bisulfida.

Berikut standar pengujian aspal pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Standar Pengujian Aspal

Jenis Penelitian	Metode Penelitian	Aspal Pen 60/70
Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	$\geq 1,0$
Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60 - 70
Titik Lembek (°C)	SNI 06-2434-1991	≥ 48
Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 06-2432-1991	≥ 100
Titik Nyala (°C)	SNI 06-2433-1991	≥ 232
Kelarutan dalam Karbon Tetra Klorida (%)	SNI 06-2438-1991	≥ 99

Sumber: Bina Marga (2010)

4.3.2 Persiapan Alat

Pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian antara lain sebagai berikut.

1. Seperangkat alat pengujian fisik agregat di antaranya mesin *Los Angeles*, saringan standar dan tabung *Sand Equivalent*.
2. Seperangkat alat pengujian karakteristik campuran metode *Marshall* yang terdiri dari cetakan benda uji (*mold*), kepala penekan yang berbentuk lengkung (*breaking head*), cincin penguji dengan kapasitas 2500 kg (5000 pound) dengan ketelitian 12,5 kg (25 pound) serta arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm (0,0001") dan arloji kelelahan dengan ketelitian 0,25 mm (0,01"). Selain itu dilengkapi juga dengan alat penunjang di antaranya kompor pemanas, pemadat (*compactor*) dengan berat 10 pound (4,536 kg) dengan tinggi jatuh 18 inch (45,7 cm) dan bak perendam.
3. Seperangkat alat pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* yang terdiri dari alat ukur tekan (*strip loading*) selebar 13 mm (0,5 inch), arloji pengukur kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm dan arloji pengukuran stabilitas.
4. Alat pengujian *Cantabro* yaitu mesin abrasi *Los Angeles* dengan tanpa bola baja dan alat timbang dengan ketelitian 0,1 gr.

4.3.3 Perencanaan Campuran Penelitian (*Mix Design*)

Susunan material campuran SMA yang dipergunakan dalam penelitian ini, yaitu agregat dan aspal yang diuji terlebih dahulu sebelum digunakan. Hal ini dimaksudkan guna mengetahui sifat-sifat material tersebut apakah telah memenuhi persyaratan atau belum.

Setelah dilakukan pengujian sifat fisik agregat dan aspal, selanjutnya dilakukan penyaringan agregat menggunakan saringan standar. Penyaringan ini dilakukan untuk mengetahui jenis agregat yang dimasukan ke dalam campuran. Gradasi sangat mempengaruhi *workability* serta tingkat stabilitas campuran untuk itu perlu dibuat rencana gradasi agregat. Adapun rencana gradasi agregat untuk campuran SMA 0/11 dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Setelah perencanaan gradasi agregat, selanjutnya mencari perkiraan kadar aspal optimum rencana. Perkiraan kadar aspal optimum rencana dapat dicari menggunakan Persamaan 4.1 berikut.

$$P_b = 0,035 \times (\%CA) + 0,045 \times (\% FA) + (0,18 \times \% FF) + 1 \quad (4.1)$$

dengan:

- P_b : Kadar aspal, persen berat total dari campuran,
 CA : Agregat kasar tertahan saringan no. 4,
 FA : Agregat halus lolos saringan no. 4 dan tertahan no. 200,
 FF : Agregat halus lolos saringan no. 200,
 Konstanta : 1

$$\begin{aligned} P_b &= 0,035 \times (\%CA) + 0,045 \times (\% FA) + (0,18 \times \% FF) + 1 \\ &= 0,035 \times (60\%) + 0,045 \times (29,5\%) + 0,18 \times (10,5\%) + 1 \\ &= 6,32\% \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh kadar optimum perkiraan adalah 6,32% dibulatkan menjadi 6,5% sehingga kadar aspal yang digunakan adalah 5,5%, 6%, 6,5%, 7%, dan 7,5% terhadap berat total campuran. Material pada penelitian ini berupa 25% RAP dan 75% material baru yang terdiri dari aspal Pertamina Pen 60/70

serta agregat kasar dan halus. Kadar bahan peremaja yang digunakan 0%, 2%, 3%, 4%, dan 5% dari berat aspal lama pada KAO dan kadar serat selulosa rami yang digunakan adalah 0,2% dari berat benda uji. Adapun kebutuhan agregat pada tiap kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.2 sampai dengan Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.2 Kebutuhan Jumlah Agregat dengan Kadar Aspal 5,5%

Gradasi Campuran <i>Split Mastic Asphalt</i> 0/11						
Ukuran Saringan	Tertahan RAP (%)	Tertahan Agregat (%)	Agregat Target (gr)	Berat (gr)		
				RAP	Agregat Baru	Total
3/4"	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	17,03	5	57,38	51,09	6,29	57,38
3/8"	10,14	32,5	373	30,43	342,57	373
No. 4	25,65	22,5	258,23	76,94	181,29	258,23
No. 8	18,43	15	172,15	55,29	116,87	172,15
No 30	14,30	6	68,86	42,91	25,95	68,86
No. 50	4,56	3	34,43	13,67	20,77	34,43
No. 200	7,62	5,5	63,12	22,87	40,26	63,12
Pan	2,27	10,5	120,51	6,81	113,70	120,51
Total Kebutuhan Agregat				300	847,69	1147,69

Tabel 4.3 Kebutuhan Jumlah Agregat dengan Kadar Aspal 6%

Gradasi Campuran <i>Split Mastic Asphalt</i> 0/11						
Ukuran Saringan	Tertahan RAP (%)	Tertahan Agregat (%)	Agregat Target (gr)	Berat (gr)		
				RAP	Agregat Baru	Total
3/4"	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	17,03	5	57,08	51,09	5,99	57,08
3/8"	10,14	32,5	371,05	30,43	340,62	371,05
No. 4	25,65	22,5	256,88	76,94	179,94	256,88
No. 8	18,43	15	171,25	55,29	115,97	171,25
No 30	14,30	6	68,50	42,91	25,59	68,50
No. 50	4,56	3	34,25	13,67	20,59	34,25
No. 200	7,62	5,5	62,79	22,87	39,93	62,79
Pan	2,27	10,5	119,88	6,81	113,07	119,88
Total Kebutuhan Agregat				300	841,69	1141,69

Tabel 4.4 Kebutuhan Jumlah Agregat dengan Kadar Aspal 6,5%

Gradasi Campuran <i>Split Mastic Asphalt</i> 0/11						
Ukuran Saringan	Tertahan RAP (%)	Tertahan Agregat (%)	Agregat Target (gr)	Berat (gr)		
				RAP	Agregat Baru	Total
3/4"	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	17,03	5	56,78	51,09	5,69	56,78
3/8"	10,14	32,5	369,10	30,43	338,67	369,10
No. 4	25,65	22,5	255,53	76,94	178,59	255,53
No. 8	18,43	15	170,35	55,29	115,07	170,35
No 30	14,30	6	68,14	42,91	25,23	68,14
No. 50	4,56	3	34,07	13,67	20,41	34,07
No. 200	7,62	5,5	62,46	22,87	39,60	62,46
Pan	2,27	10,5	119,25	6,81	112,44	119,25
Total Kebutuhan Agregat				300	835,69	1135,69

Tabel 4.5 Kebutuhan Jumlah Agregat dengan Kadar Aspal 7%

Gradasi Campuran <i>Split Mastic Asphalt</i> 0/11						
Ukuran Saringan	Tertahan RAP (%)	Tertahan Agregat (%)	Agregat Target (gr)	Berat (gr)		
				RAP	Agregat Baru	Total
3/4"	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	17,03	5	56,48	51,09	5,39	56,48
3/8"	10,14	32,5	367,15	30,43	336,72	367,15
No. 4	25,65	22,5	254,18	76,94	177,24	254,18
No. 8	18,43	15	169,45	55,29	114,17	169,45
No 30	14,30	6	67,78	42,91	24,87	67,78
No. 50	4,56	3	33,89	13,67	20,23	33,89
No. 200	7,62	5,5	62,13	22,87	39,27	62,13
Pan	2,27	10,5	118,62	6,81	111,81	118,62
Total Kebutuhan Agregat				300	829,69	1129,69

Tabel 4.6 Kebutuhan Jumlah Agregat dengan Kadar Aspal 7,5%

Gradasi Campuran <i>Split Mastic Asphalt</i> 0/11						
Ukuran Saringan	Tertahan RAP (%)	Tertahan Agregat (%)	Agregat Target (gr)	Berat (gr)		
				RAP	Agregat Baru	Total
3/4"	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	17,03	5	56,18	51,09	5,09	56,18
3/8"	10,14	32,5	365,20	30,43	334,77	365,20
No. 4	25,65	22,5	252,83	76,94	175,89	252,83
No. 8	18,43	15	168,55	55,29	113,27	168,55
No 30	14,30	6	67,42	42,91	24,51	67,42
No. 50	4,56	3	33,71	13,67	20,05	33,71
No. 200	7,62	5,5	61,80	22,87	38,94	61,80
Pan	2,27	10,5	117,99	6,81	111,18	117,99
Total Kebutuhan Agregat				300	823,69	1123,69

Pada penelitian ini tiap variabel dilakukan pengulangan 3 buah benda uji. Untuk rekapitulasi kadar peremaja dan kebutuhan jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.7 Jumlah Benda Uji untuk Rencana Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar Aspal (%)	Kadar Peremaja (%)					Jumlah
	0	2	3	4	5	
Total						
5,5	3	3	3	3	3	15
6	3	3	3	3	3	15
6,5	3	3	3	3	3	15
7	3	3	3	3	3	15
7,5	3	3	3	3	3	15
Total						75

Tabel 4.8 Jumlah Benda Uji pada KOA dengan Variasi Pengujian Oli Bekas

Pengujian	Kadar Peremaja (%)				
	0	2	3	4	5
<i>Marshall</i>	3	3	3	3	3
<i>IRS 24 Jam</i>	3	3	3	3	3
<i>IRS 48 Jam</i>	3	3	3	3	3
<i>ITS Condition</i>	3	3	3	3	3
<i>ITS Uncondition</i>	3	3	3	3	3
<i>Cantabro</i>	3	3	3	3	3
Jumlah	15	15	15	15	15
Total	90				

Berdasarkan hasil rancangan kadar bahan *RAP*, kadar aspal, dan kadar peremaja jumlah benda uji yang dibutuhkan adalah sebanyak 75 benda uji untuk pengujian Kadar Aspal Optimum dan 90 benda uji untuk setiap pengujian termasuk lama rendaman. Total benda uji yang dibuat adalah sebanyak 165 benda uji.

4.3.4 Pengujian *Marshall*

Mengacu pada *AASHTO T-245-74* dan *ASTM D-1559-62 T*, langkah-langkah pengujian *Marshall* adalah sebagai berikut.

1. Merendam benda uji ke dalam air biasa selama kira-kira 24 jam pada suhu ruang agar benda uji menjadi jenuh air.
2. Menimbang benda uji didalam air.
3. Mengelap permukaan benda uji, kemudian menimbanginya pada kondisi kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry*).
4. Merendam benda uji kedalam *waterbath* dengan suhu 60°C selama 0,5 jam.
5. Membersihkan batang penuntun (*guide rod*) dan permukaan dalam kepala penekan (*test head*) terlebih dahulu. Lalu lumasi batang penuntun sehingga kepala penekan yang atas dapat meluncur bebas.
6. Mengeluarkan benda uji dari *waterbath* dan meletakkannya ke dalam segmen bawah kepala penekan.

7. Memasang segmen atas di atas benda uji dan meletakkannya dalam mesin penguji.
8. Memasang arloji kelelahan (*flowmeter*) pada penunjuk angka nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan (*breaking head*). Selama pembebanan berlangsung, tangkai arloji kelelahan ditekan pada segmen atas dari kepala penekan.
9. Menaikkan kepala penekan beserta benda ujinya sehingga menyentuh alas cincin penguji. Kemudian mengatur kedudukan jarum arloji tekan pada angka nol.
10. Pembebanan dimulai dengan kecepatan tetap 50 mm/menit, sehingga pembebanan maksimum tercapai atau pembebanan menurun seperti ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan mencatat pembebanan maksimum yang tercapai (stabilitas) serta angka pada arloji kelelahan (*flow*).
11. Melepaskan selubung tangkai arloji kelelahan (*sleeve*) pada setelah nilai kelelahan yang ditunjukkan oleh jarum arloji kelelahan dicatat.
12. Menganalisis dan membuat pembahasan.

4.3.5 Pengujian Perendaman (*Immersion Test*)

Perbedaan pengujian *Marshall* dengan pengujian perendaman (*Immersion Test*) pada perendaman yang dilakukan di dalam water bath selama 24 jam dan 48 jam. Berikut adalah langkah-langkah pengujian perendaman (*Immersion Test*) sebagai berikut.

1. Merendam benda uji yang telah diangkat dari rendaman air selama 24 jam pada suhu ruang, agar benda uji dalam keadaan jenuh air.
2. Menimbang benda uji dalam keadaan jenuh air.
3. Mengeringkan benda uji dengan cara mengelap, kemudian benda uji ditimbang didalam air.
4. Merendam benda uji dalam *waterbath* dengan suhu 60°C selama 24 jam.
5. Melakukan pengujian *Marshall*.
6. Lakukan langkah yang sama pada pengujian perendaman (*Immersion 48 jam*).

4.3.6 Pengujian Kuat Tarik Tak Langsung (*Indirect Tensile Strength*)

Setelah benda uji dikeluarkan dari *mold*, kemudian dilakukan pengujian kuat tarik tidak langsung menggunakan alat uji *Indirect Tensile Strength (ITS)*. Adapun Langkah-langkah dalam pengujian kuat tarik tidak langsung adalah sebagai berikut.

1. Mengukur tebal masing-masing benda uji pada empat sisi yang berbeda, dan mengambil tebal rata-rata, lalu menghitung koreksi tebal, serta menghitung diameter masing-masing benda uji.
2. Melakukan pembebanan pada benda uji hingga mencapai maksimum yaitu saat arloji pembebanan berhenti dan berbalik arah. Pada saat itu dilakukan pembacaan dan pencatatan nilai dial. Mengeluarkan benda uji dari alat uji *ITS* dan deformasi meter.
3. Mengeluarkan benda uji dari alat uji dan pengujian benda uji berikutnya mengikuti prosedur di atas.
4. Menghitung nilai kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strength*) terkoreksi.

4.3.7 Pengujian *Cantabro*

Pengujian *Cantabro* dimaksudkan untuk mengetahui ketahanan benda uji terhadap disintegrasi dari akibat benturan. Adapun cara pengujianya sebagai berikut.

1. Meletakkan benda uji yang telah direndam air suling kedalam mesin abrasi *Los Angeles* dengan tanpa bola baja.
2. Mengeluarkan dan menimbang benda uji
3. Menganalisis hasil pengujian dan membuat pembahasan.

4.4 Analisis Data

Adapun analisis yang dilakukan setelah pengujian-pengujian di atas ialah sebagai berikut.

4.4.1 Analisis Karakteristik *Marshall*

Adapun karakteristik *Marshall* didapatkan dengan menganalisis hasil pengujian di laboratorium, didapatkan data sebagai berikut.

- a. Berat kering benda uji (gram),
- b. Berat benda uji dalam air (gram),
- c. Berat benda uji kering muka (gram),
- d. Tebal benda uji (mm),
- e. Pembacaan arloji stabilitas (kg), dan
- f. Pembacaan arloji kelelahan (mm).

Nilai-nilai karakteristik *Marshall* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut.

- a. Berat jenis aspal

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

dengan :

A : Berat piknometer (dengan penutup) (gram),

B : Berat piknometer berisi air (gram),

C : Berat piknometer berisi aspal (gram), dan

D : Berat piknometer berisi aspal dan air (gram).

- b. Berat jenis agregat

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

dengan:

F1 : Persentase agregat kasar,

F2 : Persentase agregat halus,

A : Berat jenis agregat kasar, dan

B : Berat jenis agregat halus.

- c. Nilai-nilai stabilitas didapatkan dengan Persamaan 3.9.
- d. Kelelahan (*flow*) dibaca dari pembacaan arloji kelelahan.
- e. *VMA* (*Void in Mineral Agregat*) menggunakan Persamaan 3.4.
- f. *VITM* (*Void in Total Mix*) menggunakan Persamaan 3.5.
- g. *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*) menggunakan Persamaan 3.8.
- h. *MQ* (*Marshall Quotient*) menggunakan Persamaan 3.19.

- i. Pengujian *IRS* menggunakan persamaan 3.10.
- j. Pengujian *ITS* menggunakan persamaan 3.16.
- k. Pengujian *Cantabro* menggunakan persamaan 3.18.
- l. Pengujian *TSR* menggunakan persamaan 3.17.

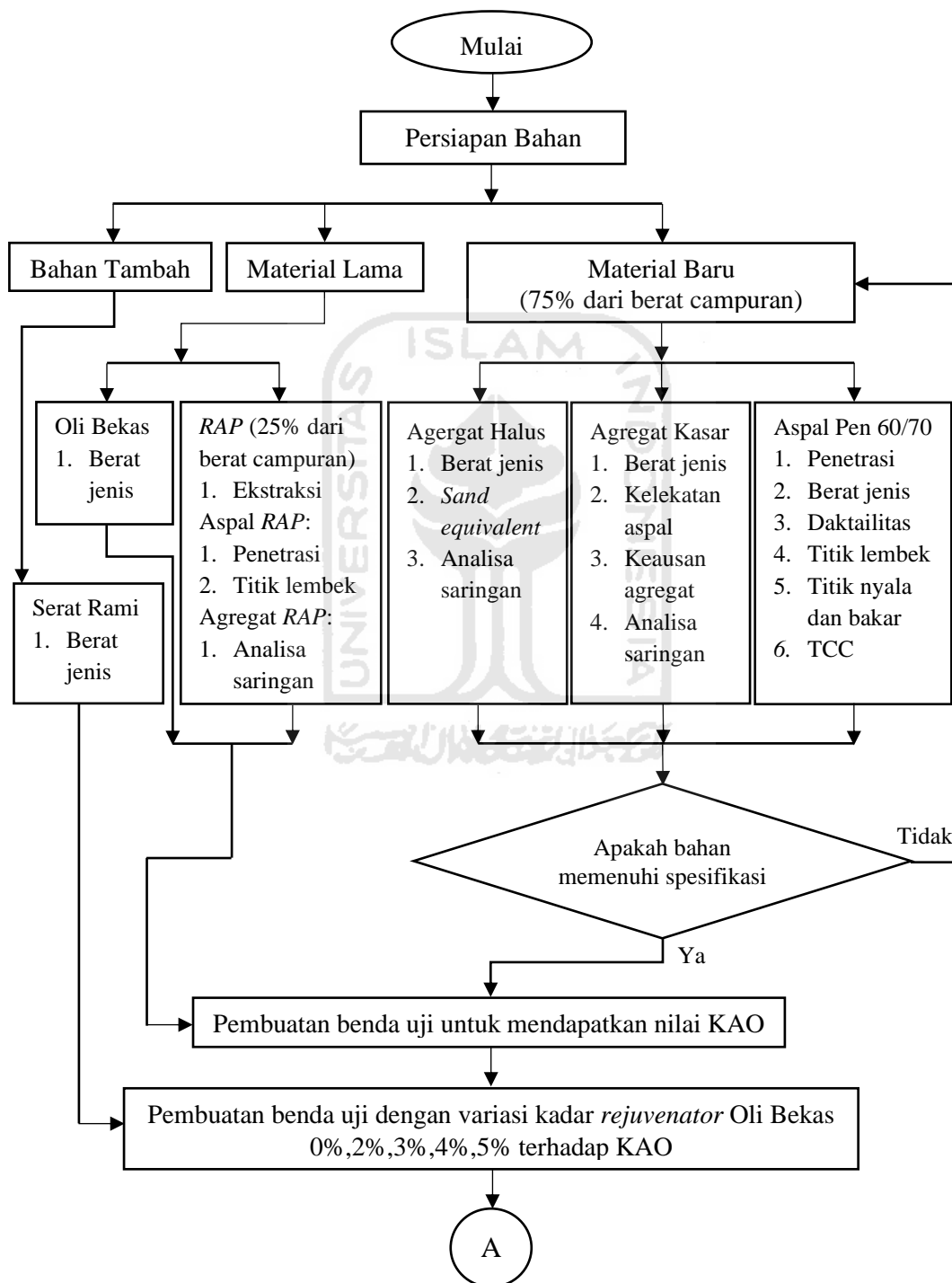
4.4.2 Analisis Statistik

Data-data seperti parameter-parameter *Marshall*, *ITS*, *IRS*, dan *Cantabro* dengan variasi kadar peremaja oli bekas pada campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* dengan bahan ikat aspal Pertamina Pen 60/70, dianalisis menggunakan analisis statistik *Analysis of Variance (ANOVA)* satu arah. Metode ini digunakan karena terdapat variabel bebas yang terbagi menjadi beberapa kelompok yaitu kadar peremaja oli bekas. Secara umum analisis statistik menggunakan *ANOVA* satu arah adalah sebagai berikut.

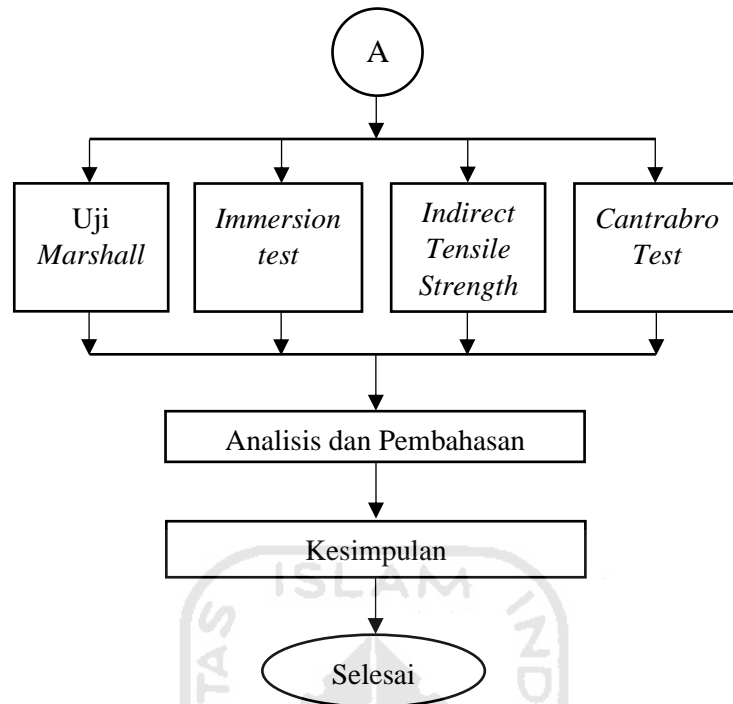
- a. Merumuskan hipotesis (H_0) dan hipotesis alternative (H_a)
 Uji hipotesis bertujuan untuk mengetahui pengaruh masing-masing factor variabel.
 $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$
 $H_a : \mu_1 \neq \mu_2 = \dots \neq \mu_k$
- b. Menentukan nilai α atau tingkat signifikan.
- c. Mencari nilai df atau derajat kebebasan.
- d. Penggunaan tabel distribusi F
 Nilai F tabel bergantung dari nilai α dan df .
- e. Penentuan daerah penolakan dan kritis
 Daerah penolakan dan penerimaan dibatasi oleh nilai α dan nilai F-hitung.
- f. Perumusan keputusan H_0 dan H_a
 H_0 : Tidak ada perbedaan secara signifikan pengaruh kadar peremaja oli bekas terhadap karakteristik campuran *SMA* 12,5mm.
 H_a : Ada perbedaan secara signifikan pengaruh kadar peremaja oli bekas terhadap karakteristik campuran *SMA* 12,5mm.

4.5 Bagan Alir Proses Penelitian

Bagan alir proses penelitian adalah penjelasan singkat tahapan-tahapan penelitian. Adapun bagan alir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Bagan Alir Proses Penelitian



Gambar 4.1 Lanjutan Bagan Air Proses Penelitian

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Material dan Campuran

Hasil pengujian yang telah dilakukan pada laboratorium yaitu pengujian material karakteristik agregat kasar, agregat halus, *filler*, aspal, *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*, serta hasil pengujian *Marshall* variasi penambahan oli bekas sebagai peremaja *RAP* pada campuran *Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11*. Dari beberapa percobaan variasi oli bekas didapatkan nilai parameter *Marshall* untuk mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO).

5.1.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar pada penelitian ini berasal dari Sungai Clereng, Kulon Progo. Seluruh pengujian dilakukan pada Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Hasil yang diperoleh dari pengujian telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Niali Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	> 2,5	2,66	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	< 3	1,68	Memenuhi
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	> 95	98	Memenuhi
4	Keausan dengan Mesin <i>Los Angeles</i>	< 40	13,07	Memenuhi

5.1.2 Hasil Pengujian Agregat Halus

Agregat halus pada penelitian ini berasal dari Sungai Clereng, Kulon Progo. Seluruh pengujian dilakukan pada Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Hasil yang diperoleh dari pengujian telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5.2 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Nilai Penyerapan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$> 2,5$	2,6	Memenuhi
2	Penyerapan Air Pada Agregat (%)	< 3	2,35	Memenuhi
3	<i>Sand Equivalent</i> (%)	> 50	91,98	Memenuhi

5.1.3 Hasil Pengujian *Filler*

Filler pada penelitian ini berasal dari Sungai Clereng, Kulon Progo. Seluruh pengujian dilakukan pada Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Hasil yang diperoleh dari pengujian telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut ini.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Berat Jenis *Filler*

No	<i>Filler</i>	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≤ 8	2,553	Memenuhi

5.1.4 Hasil Pengujian Aspal

Pengujian menggunakan aspal Pertamina Pen 60/70 yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian karakteristik aspal ini mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2010. Adapun hasil pengujian karakteristik aspal tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut atau dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,023	Memenuhi
2	Penetrasi (mm)	60/70	62,3	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	≥ 100	164	Memenuhi
4	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 48	48	Memenuhi
5	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	332	Memenuhi
6	Titik Bakar ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	345	Memenuhi
7	Kelarutan pada TCE (%)	≥ 99	99,03	Memenuhi

5.1.5 Hasil Pengujian *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*

Material *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari *core milling* atau pengerukan aspal pada Jalan Raya Wates, Kulon Progo, Yogyakarta. *RAP* yang diperoleh kemudian dilakukan pengujian untuk menentukan jenis campuran yang digunakan. Tujuannya adalah untuk merencanakan campuran material *RAP* dengan material campuran dan aspal baru. Hasil pengujian karakteristik material *RAP* dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Karakteristik Material *RAP*

No	Keterangan	Satuan	Hasil
1	Kadar Aspal	%	4,56
2	Penetrasi	mm	54
3	Titik Lembek	$^{\circ}\text{C}$	53

5.1.6 Hasil Pengujian Campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 untuk

Menentukan Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)

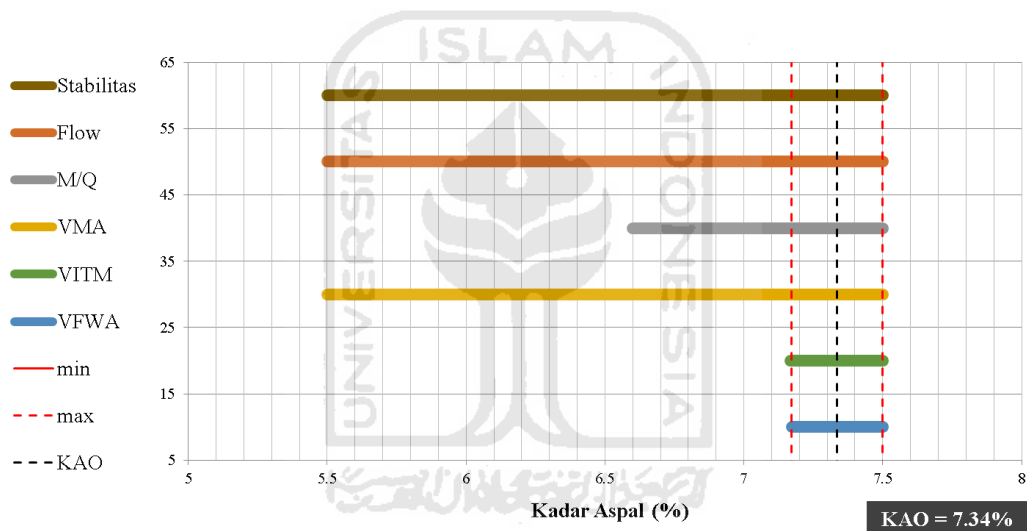
Pengujian nilai KAO dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Pengujian yang dilakukan dalam menentukan nilai KAO adalah uji *Marshall*. Data yang diperoleh dari uji *Marshall* berupa Stabilitas (*Stability*), Kelelehan (*Flow*), *MQ* (*Marshall Quotient*), *VITM* (*Void In The Mix*), *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*), *VMA* (*Void Mineral Aggregate*) dan Kepadatan (*Density*) dari campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 yang menggunakan aspal Pen 60/70.

Parameter yang digunakan pada penentuan nilai KAO pada campuran *SMA* menggunakan spesifikasi Bina Marga 1983 yaitu *VITM* dengan syarat 3%-5%, nilai *VFWA* 76%-82%, nilai *VMA* minimal 15%, nilai stabilitas lebih dari 670 kg, nilai *flow* dengan syarat 2 mm-4 mm, dan nilai *MQ* dengan syarat 190-300 kg/mm. Kadar Aspal Optimum (KAO) adalah kadar aspal yang memenuhi semua sifat campuran pada pengujian *Marshall*, nilai kadar aspal optimum diperoleh dari hasil pengujian *Marshall* yang memenuhi batas-batas spesifikasi campuran.

Nilai KAO pada penelitian ini diperoleh dari 5 nilai kadar aspal optimum berdasarkan variasi kadar peremaja oli bekas pada *RAP*. Nilai-nilai dari hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.6, Tabel 5.7, Tabel 5.8, Tabel 5.9, dan Tabel 5.10 kemudian digambarkan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.1, Gambar 5.2, Gambar 5.3, Gambar 5.4, dan Gambar 5.5 untuk menentukan kadar aspal optimum.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Marshall Pada Kadar Peremaja 0%

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5,5	960,57	2,57	376,51	7,72	60,93	19,74	2,2367
6	968,66	2,57	378,58	6,55	66,85	19,74	2,2487
6,5	894,44	2,80	319,41	6,05	70,21	20,31	2,2445
7	851,77	3,57	239,71	5,45	73,81	20,80	2,2429
7,5	827,42	3,73	222,27	4,10	80,16	20,66	2,2589
BINA MARGA	670	2-4	190-300	3,0-5,0	>76	>15	>2

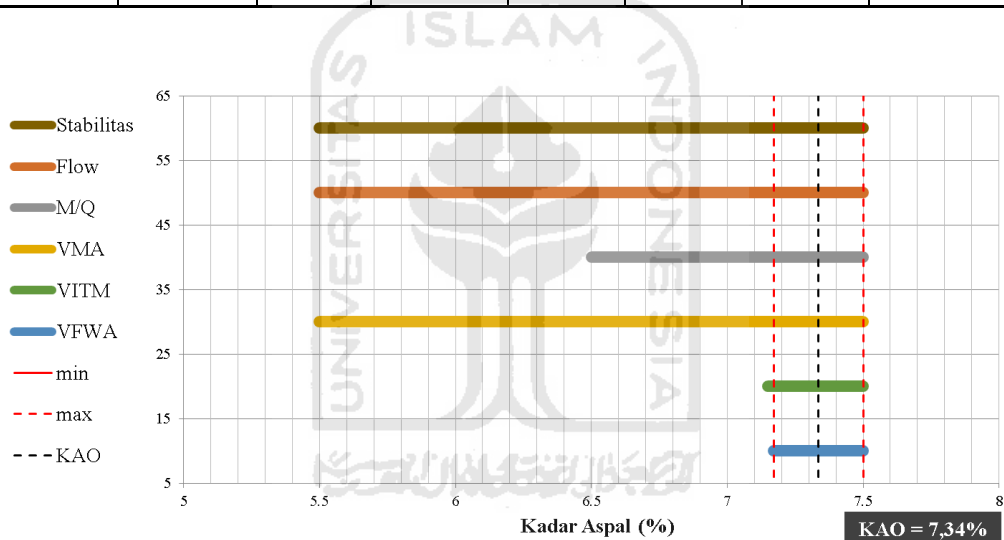


Gambar 5.1 Nilai KAO Pada Kadar Peremaja 0%

Berdasarkan Tabel 5.6 dan Gambar 5.1 diperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk kadar peremaja 0% adalah 7,34%.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Marshall Pada Kadar Peremaja 2%

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5,5	994,22	2,87	347,97	8,19	59,38	20,15	2,2253
6	1123,21	2,87	392,90	6,71	66,24	19,88	2,2448
6,5	951,44	3,20	297,36	6,10	70,04	20,35	2,2434
7	796,29	3,47	231,01	5,16	74,89	20,56	2,2497
7,5	699,54	3,57	196,59	4,61	78,12	21,09	2,2468
BINA MARGA	670	2-4	190-300	3,0-5,0	>76	>15	>2

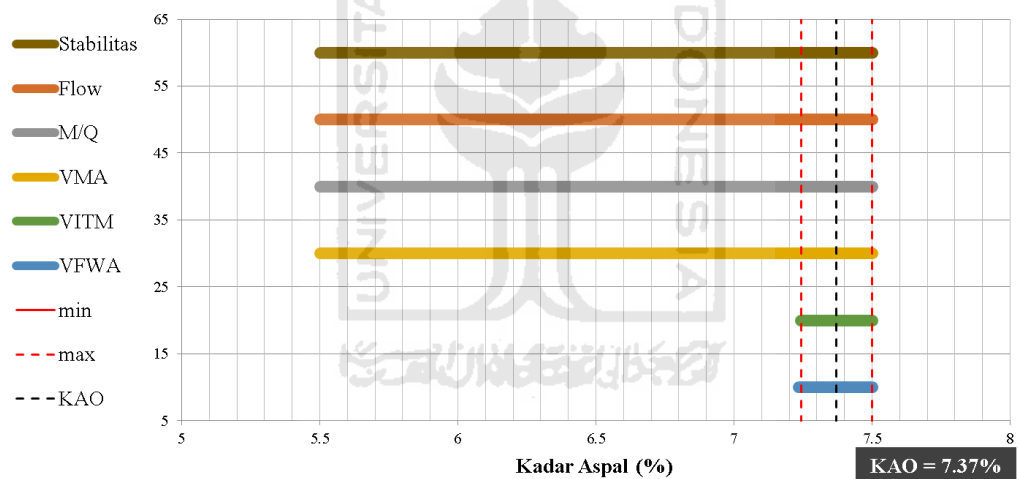


Gambar 5.2 Nilai KAO Pada Kadar Peremaja 2%

Berdasarkan Tabel 5.7 dan Gambar 5.2 diperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk kadar peremaja 2% adalah 7,34%.

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Marshall Pada Kadar Peremaja 3%

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5,5	813,02	3,13	259,85	8,90	57,16	20,77	2,2081
6	881,95	3,27	273,50	7,68	62,92	20,71	2,2215
6,5	919,59	3,37	273,30	6,85	67,38	20,99	2,2255
7	956,28	3,53	270,96	5,25	74,56	20,63	2,2477
7,5	881,02	3,70	240,55	4,73	77,65	21,19	2,2439
BINA MARGA	670	2-4	190-300	3,0-5,0	>76	>15	>2

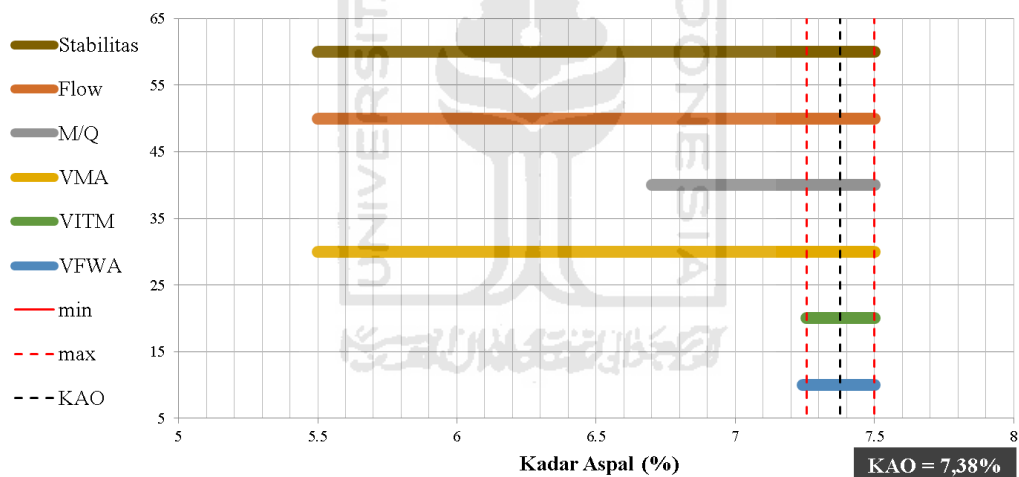


Gambar 5.3 Nilai KAO Pada Kadar Peremaja 3%

Berdasarkan Tabel 5.8 dan Gambar 5.3 diperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk kadar peremaja 3% adalah 7,37%.

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Marshall Pada Kadar Peremaja 4%

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5,5	942,85	3,37	280,08	9,53	55,31	21,32	2,1928
6	968,72	3,33	291,75	8,66	59,81	21,55	2,1978
6,5	974,39	3,37	289,33	6,40	68,96	20,61	2,2362
7	829,99	3,50	237,25	5,25	74,55	20,63	2,2476
7,5	760,74	3,90	195,61	4,76	77,56	21,21	2,2434
BINA MARGA	670	2-4	190-300	3,0-5,0	>76	>15	>2

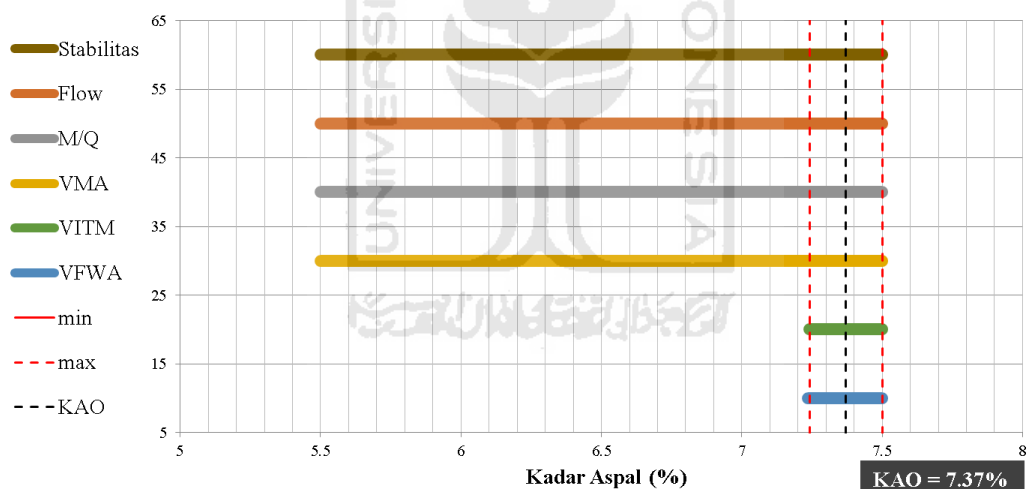


Gambar 5.4 Nilai KAO Pada Kadar Peremaja 4%

Berdasarkan Tabel 5.9 dan Gambar 5.4 diperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk kadar peremaja 4% adalah 7,38%.

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Marshall Pada Kadar Peremaja 5%

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5,5	752,59	3,37	223,82	9,65	54,95	21,42	2,1898
6	901,65	3,30	274,01	8,19	61,32	21,14	2,2093
6,5	864,90	3,43	251,82	6,76	67,69	20,91	2,2276
7	826,57	3,57	232,03	5,42	73,90	20,77	2,2436
7,5	764,44	3,80	202,73	4,55	78,39	21,03	2,2484
BINA MARGA	670	2-4	190-300	3,0-5,0	>76	>15	>2



Gambar 5.5 Nilai KAO Pada Kadar Peremaja 5%

Berdasarkan Tabel 5.10 dan Gambar 5.5 diperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk kadar peremaja 5% adalah 7,37%.

Rekapitulasi hasil pengujian karakteristik *Marshall* untuk mencari Kadar Aspal Optimum (KAO) setiap varisasi kadar peremaja oli bekas dengan material *RAP* terhadap Campuran *SMA* dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Pengujian karakteristik *Marshall* untuk Mencari Kadar Aspal Optimum Campuran SMA 0/11

Pengujian	Kadar Aspal (%)	Kadar Peremaja Oli Bekas (%)				
		0	2	3	4	5
Stabilitas (Kg)	5,5	960,57	994,22	813,02	942,85	752,59
	6	968,66	1123,21	881,95	968,72	901,65
	6,5	894,44	951,44	919,59	974,39	864,90
	7	851,77	796,29	956,28	829,99	826,57
	7,5	827,42	699,54	881,02	760,74	764,44
Flow (mm)	5,5	2,57	2,87	3,13	3,37	3,37
	6	2,57	2,87	3,27	3,33	3,30
	6,5	2,80	3,20	3,37	3,37	3,43
	7	3,57	3,47	3,53	3,50	3,57
	7,5	3,73	3,57	3,70	3,90	3,80
MQ (Kg/mm)	5,5	376,51	347,97	259,85	280,08	223,82
	6	378,58	392,90	273,50	291,75	274,01
	6,5	319,41	297,36	273,30	289,33	251,82
	7	239,71	231,01	270,96	237,25	232,03
	7,5	222,27	196,59	240,55	195,61	202,73
VITM (%)	5,5	7,72	8,19	8,90	9,53	9,65
	6	6,55	6,71	7,68	8,66	8,19
	6,5	6,05	6,10	6,85	6,40	6,76
	7	5,45	5,16	5,25	5,25	5,42
	7,5	4,10	4,61	4,73	4,76	4,55
VFWA (%)	5,5	60,93	59,38	57,16	55,31	54,95
	6	66,85	66,24	62,92	59,81	61,32
	6,5	70,21	70,04	67,38	68,96	67,69
	7	73,81	74,89	74,56	74,55	73,90
	7,5	80,16	78,12	77,65	77,56	78,39
VMA (%)	5,5	19,74	20,15	20,77	21,32	21,42
	6	19,74	19,88	20,71	21,55	21,14
	6,5	20,31	20,35	20,99	20,61	20,91
	7	20,80	20,56	20,63	20,63	20,77
	7,5	20,66	21,09	21,19	21,21	21,03
Density (gr/cc)	5,5	2,24	2,23	2,21	2,19	2,19
	6	2,25	2,24	2,22	2,20	2,21
	6,5	2,24	2,24	2,23	2,24	2,23
	7	2,24	2,25	2,25	2,25	2,24
	7,5	2,26	2,25	2,24	2,24	2,25

Rekapitulasi hasil Kadar Aspal Optimum (KAO) dengan variasi kadar peremaja oli bekas pada material *RAP* terhadap campuran *Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11* dapat dilihat pada Tabel 5.12 sebagai berikut.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum Campuran SMA 0/11

Kadar Peremaja Oli Bekas (%)	Kadar Aspal Minimum (%)	Kadar Aspal Maksimum (%)	Kadar Aspal Optimum (%)
0	7,17	7,5	7,34
2	7,17	7,5	7,34
3	7,24	7,5	7,37
4	7,25	7,5	7,38
5	7,24	7,5	7,37

5.2 Pembahasan

Berikut merupakan pembahasan hasil pengujian karakteristik bahan campuran *SMA 0/11* dengan serat rami yang sudah dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia sebagai berikut.

5.2.1 Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian karakteristik agregat kasar bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan karakteristik agregat kasar. Agregat kasar berasal dari sungai Clereng, Kulon Progo. Pembahasan untuk pengujian karakteristik agregat kasar pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat Kasar

Berat jenis adalah perbandingan antara berat dari satuan volume suatu material terhadap berat air terhadap volume yang sama pada temperatur tertentu. Agregat dengan berat jenis yang kecil mempunyai volume yang besar atau pori yang lebih besar sehingga dengan membutuhkan aspal yang lebih banyak serta menunjukkan tingkat kekuatan yang rendah dan porositas yang tinggi. Hasil pengujian berat

jenis menunjukkan nilai sebesar 2,66 sehingga memenuhi persyaratan spesifikasi dari Bina Marga 2010 yaitu $> 2,5$.

2. Penyerapan Agregat Terhadap Air

Penyerapan agregat terhadap air adalah kemampuan suatu material menyerap air oleh pori-pori atau rongga pada agregat sehingga terjadi perubahan berat agregat. Agregat dengan pori yang besar memiliki nilai penyerapan yang besar menunjukkan agregat semakin porous sehingga membutuhkan banyak aspal. Hasil pengujian penyerapan agregat terhadap air diperoleh nilai sebesar 1,68% sehingga memenuhi spesifikasi dari Bina Marga 2010 yaitu $< 3\%$.

3. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Pengujian kelekatan agregat oleh aspal bertujuan untuk mengetahui persentase luas permukaan suatu agregat yang terselimuti aspal terhadap permukaan agregat. Semakin tinggi daya ikat yang diberikan oleh aspal terhadap agregat maka gesekan atau *internal friction* akan semakin tinggi, sehingga nilai stabilitas semakin meningkat. Hasil pengujian kelekatan agregat terhadap aspal menunjukkan nilai 98% sehingga memenuhi spesifikasi dari Bina Marga 2010 yaitu $> 95\%$.

4. Keausan dengan Mesin *Los Angeles*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan agregat terhadap penghancuran (*degradasi*). Hasil pengujian keausan agregat dengan mesin *Los Angeles* menunjukkan nilai 13,07% sehingga memenuhi spesifikasi dari Bina Marga 2010 yaitu $< 40\%$.

5.2.2 Karakteristik Agregat Halus

Pengujian karakteristik agregat halus bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan karakteristik agregat halus. Agregat halus berasal dari sungai Clereng, Kulon Progo. Pembahasan untuk pengujian karakteristik agregat kasar pada penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Berat Jenis Agregat

Berat jenis agregat halus memiliki pengaruh yang cukup besar pada hasil karakteristik *Marshall* yaitu *Density*, *VMA*, *VFWA* dan *VITM*. Hasil pengujian

berat jenis menunjukkan nilai 2,6 sehingga memenuhi spesifikasi dari Bina Marga 2010 yaitu $> 2,5$.

2. Penyerapan Agregat Terhadap Air

Penyerapan agregat terhadap air akan mempengaruhi besarnya kadar aspal yang dibutuhkan sehingga semakin besar nilai penyerapan agregat terhadap air maka kebutuhan aspal yang dibutuhkan dalam suatu campuran semakin besar. Hasil pengujian penyerapan agregat terhadap air didapatkan nilai 2,35% sehingga memenuhi spesifikasi dari Bina Marga 2010 yaitu $< 3\%$.

3. *Sand Equivalent*

Pengujian *Sand Equivalent* agregat halus bertujuan untuk mengetahui tingkat kebersihan agregat halus terhadap debu, lumpur, dan kotoran lainnya. Semakin tinggi nilai *Sand Equivalent* menunjukkan tingkat kebersihan agregat yang tinggi. Material lain selain agregat halus akan mempengaruhi tingkat kelekatan aspal terhadap agregat. Hasil pengujian *Sand Equivalent* menunjukkan nilai sebesar 91,98% sehingga memenuhi spesifikasi dari Bina Marga 2010 yaitu $> 50\%$.

5.2.3 Karakteristik *Filler*

Pengujian karakteristik *filler* agar bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan karakteristik *filler*. *Filler* berasal dari sungai Clereng, Kulon Progo. Pembahasan untuk pengujian karakteristik *filler* pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat

Berat jenis adalah perbandingan berat satuan volume antara suatu benda dengan berat air pada volume dan suhu yang sama. Adapun hasil pengujian berat jenis *filler* abu batu Clereng yang digunakan sebesar 2,553.

5.2.4 Karakteristik Aspal

Pengujian menggunakan aspal dengan jenis Pertamina Pen 60/70 pengujian ini mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2010. Pembahasan untuk pengujian karakteristik aspal pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Berat jenis aspal

Berat jenis aspal adalah perbandingan berat antara aspal dengan berat air dengan volume yang sama dan temperatur yang sama. Adapun berat jenis aspal yang sudah diuji yaitu sebesar 1,023 memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $>1,00$.

2. Penetrasi aspal

Uji penetrasi aspal bertujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal dengan beban dan waktu tertentu pada suhu yang telah ditentukan. Adapun nilai penetrasi aspal Pertamina Pen 60/70 yang diuji adalah 62,3 mm memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu minimal 60 mm.

3. Daktilitas

Pengujian daktilitas memiliki tujuan untuk mengetahui sifat kohesi aspal yang dapat mempengaruhi fleksibilitas campuran aspal sehingga dapat menahan lendutan. Adapun hasil pengujian daktilitas aspal Pertamina Pen 60/70 menghasilkan nilai daktilitas sebesar 164 cm memenuhi spesifikasi Bina Marga yaitu > 100 cm.

4. Titik nyala

Pengujian titik nyala bertujuan untuk mengetahui pada suhu berapa batas aspal cukup aman untuk dipanaskan. Hasil pengujian titik nyala aspal Pertamina Pen 60/70 menunjukkan nilai sebesar 332°C memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $> 232^{\circ}\text{C}$.

5. Kelarutan dalam *TCE* (*Trichloroethylene*)

Pengujian kelarutan terhadap *TCE* memiliki tujuan untuk mengetahui persentase kelarutan aspal pada larutan *TCE* sehingga diketahui persentase mineral lain yang ada dalam aspal. Semakin besar kelarutan aspal pada *TCE* maka semakin kecil kandungan mineral lain pada aspal yang bisa mengganggu ikatan aspal dengan agregat. Adapun hasil pengujian kelarutan dalam *TCE* aspal Pertamina Pen 60/70 adalah sebesar 99,03% memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu sebesar $> 99\%$.

6. Titik Lembek

Pengujian titik lembek berfungsi untuk mengetahui pada temperatur berapa aspal akan mulai melunak atau melembek. Hasil pengujian aspal Pertamina Pen 60/70

menunjukkan titik lembek sebesar 48°C memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $\geq 48^{\circ}\text{C}$.

5.2.5 Karakteristik *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*

Pengujian karakteristik *RAP* bertujuan untuk mengetahui karakteristik *RAP*. Material *RAP* yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari aspal bongkaran Jalan Raya Wates, Kulon Progo, Yogyakarta.

1. Penentuan Kadar Aspal Pada Material *RAP*

Pengujian dilakukan dengan mengeskraksi *RAP* untuk mendapatkan nilai kadar aspal yang terkandung. Hasil pemeriksaan ekstraksi aspal dan kadar aspal pada material *RAP* dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5.13 Kadar Aspal Pada Material *RAP*

Keterangan	Satuan	Sample Uji		
		I	II	III
Kadar Aspal <i>RAP</i>	%	5,066	4,048	4,578
Kadar Aspal <i>RAP</i> rata-rata	%	4,56		

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai rata-rata kadar aspal yang terkandung di dalam *RAP* adalah 4,56%.

2. Pengujian Penetrasi Aspal Pada Material *RAP*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui penetrasi pada aspal yang terkandung di dalam material *RAP*. Hasil perhitungan nilai penetrasi pada penelitian ini diperoleh nilai rata-rata sebesar 54 mm. Berdasarkan nilai penetrasi tersebut, maka aspal pada material *RAP* merupakan jenis aspal Penetrasi 60/70 yang sudah mengalami perkerasan, sehingga membutuhkan bahan peremaja untuk melunakan aspal yang telah mengeras.

3. Pengujian Titik Lembek Aspal Pada Material *RAP*

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai titik lembek aspal yang terkandung di dalam material *RAP*. Berdasarkan hasil pengujian titik lembek

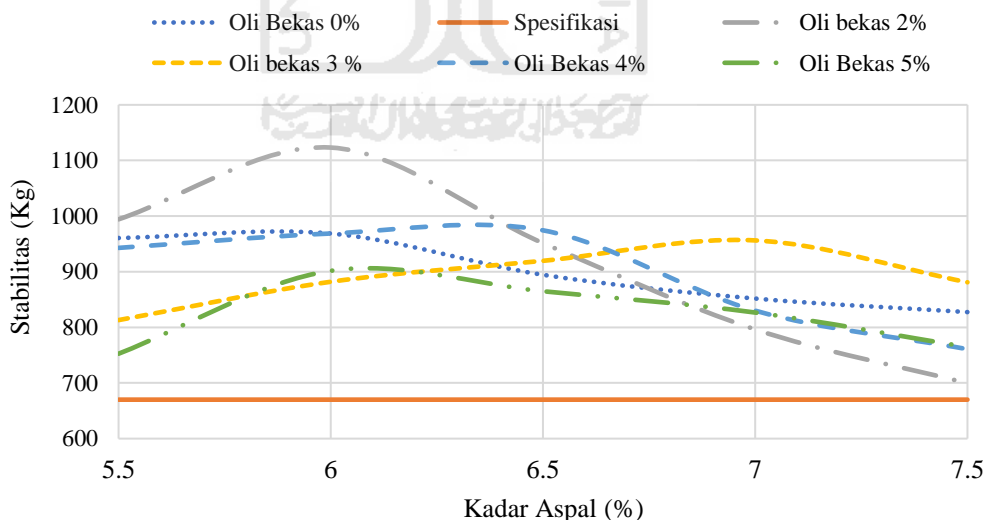
aspal pada material *RAP* maka diperoleh nilai titik lembek aspal pada suhu 53°C dan waktu 12 menit 40 detik. Hasil memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2010 untuk nilai titik lembek aspal penetrasi 60/70 yaitu 48°C - 59°C .

5.2.6 Hasil Peninjauan Karakteristik Marshall untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada Campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11

Kadar Aspal Optimum diperoleh dari beberapa parameter yang telah ditinjau pada Pengujian Karakteristik *Marshall* diantaranya adalah melalui nilai stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient*, *VITM*, *VFWA*, *VMA*, dan *Density*. Berikut adalah pembahasan dari hasil pengujian karakteristik *Marshall* untuk menentukan nilai KAO. Berikut adalah penjelasan tentang menentukan kadar aspal optimum melalui hubungan kadar aspal dengan beberapa parameter pengujian karakteristik *Marshall*.

1. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Stabilitas

Hasil pengujian *Marshall* pada nilai stabilitas untuk mencari KAO pada campuran *SMA* 0/11 dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



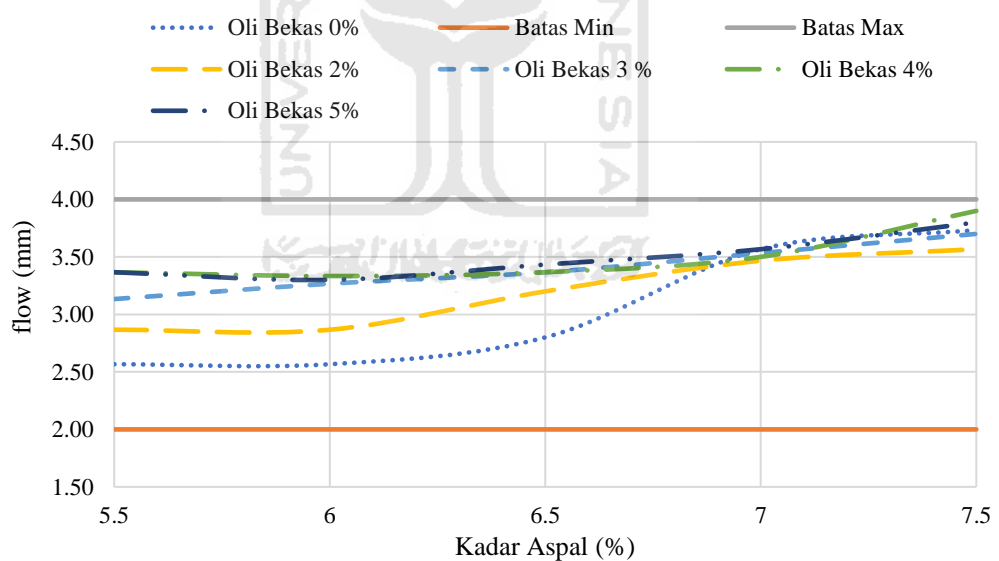
Gambar 5.6 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.6 tentang hubungan antara nilai kadar aspal dan stabilitas pada campuran *SMA* 0/11 seiring dengan bertambahnya kadar aspal yang digunakan maka semakin meningkat nilai stabilitas pada campuran tersebut hingga kondisi optimum tertentu tercapai kemudian nilai stabilitas pada

campuran akan mengalami penurunan. Hal ini karena semakin bertambahnya kadar aspal yang digunakan pada campuran menyebabkan selimut aspal semakin tebal dan gesekan antar butir agregat semakin berkurang, dan nilai kohesi menjadi menurun dengan fungsi aspal yang digunakan sebagai perekat antar agregat akan menjadi pelicin ketika sudah berlebih. Selain itu, pengaruh penambahan oli bekas pada kadar aspal yang sama relatif menurunkan nilai stabilitas setelah penambahan yang berlebih. Hal ini terjadi karena seiring dengan penambahan oli bekas menyebabkan material *RAP* melunak, sehingga gaya ikat antar agregat menurun.

2. Pengaruh Kadar Aspal *Flow*

Hasil pengujian *Marshall* pada nilai *flow* untuk mencari KAO pada campuran *SMA 0/11* dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.



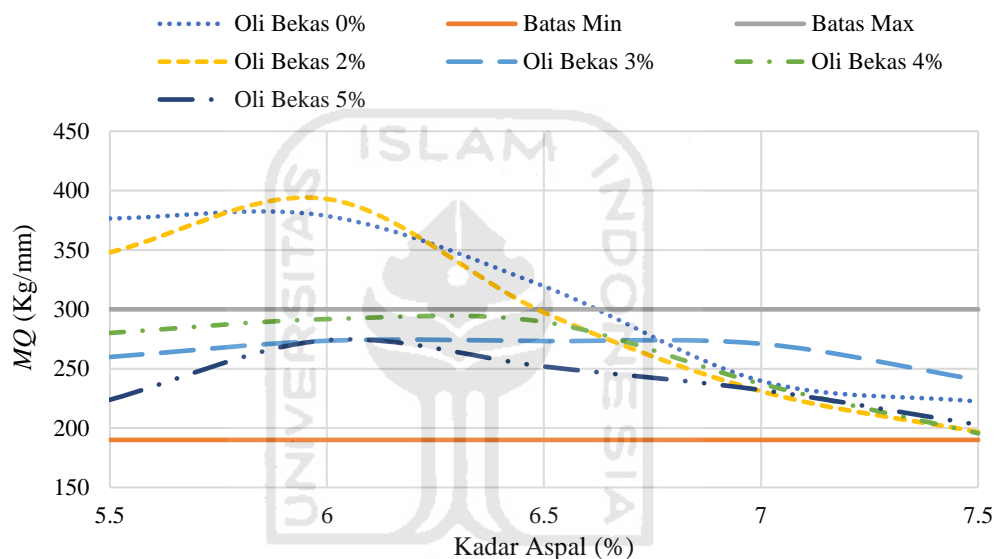
Gambar 5.7 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai *Flow*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.7 tentang hubungan nilai kadar aspal dan *flow* pada campuran *SMA 0/11* seiring dengan bertambahnya kadar aspal yang digunakan maka semakin meningkat nilai *flow* pada campuran tersebut. Hal ini karena seiring bertambahnya kadar aspal maka campuran bersifat plastis, sehingga campuran akan mengalami perubahan bentuk atau deformasi pada saat

terkena beban. Penambahan oli bekas juga mempunyai pengaruh terhadap nilai kelelehan dalam satu kadar aspal yang sama yaitu seiring dengan penambahan oli bekas dapat menyebabkan material *RAP* melunak.

3. *Marshall Quotient (MQ)*

Hasil pengujian *Marshall* pada nilai *MQ* untuk mencari KAO pada campuran *SMA 0/11* dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.

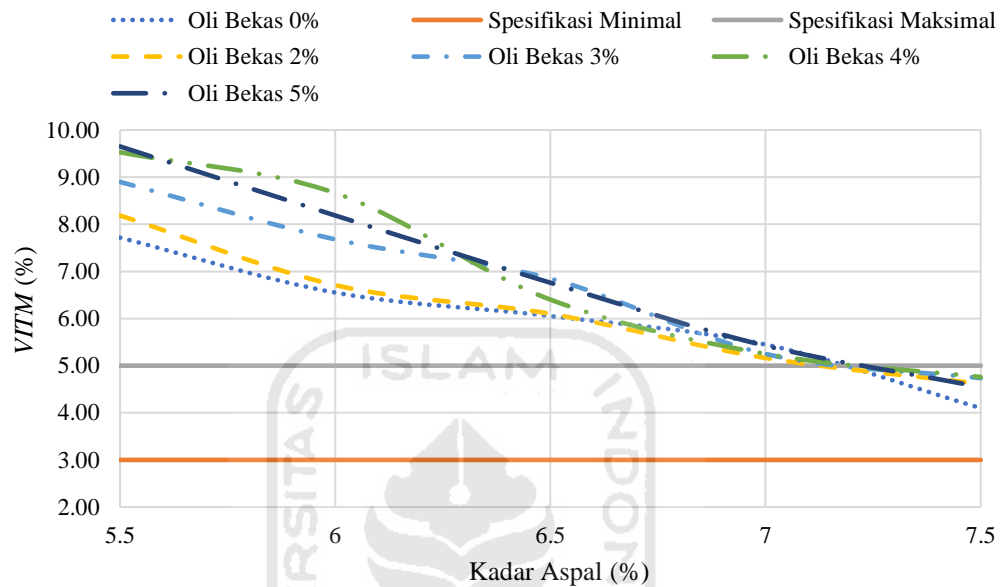


Gambar 5.8 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai *MQ*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.8 tentang hubungan antara kadar aspal dan *MQ* pada campuran *SMA 0/11* diperoleh hasil pada kadar aspal 7% sampai 7,5% didapat nilai *MQ* yang rendah disebabkan campuran tersebut sudah berlebih penambahan kadar aspal sehingga campuran bersifat lentur. Pada penambahan oli bekas mempunyai pengaruh terhadap kelenturan dari campuran tersebut, karena seiring dengan penambahan oli bekas dalam kadar aspal yang sama menyebabkan material *RAP* melunak dan campuran semakin fleksibel.

4. *Void In The Mix (VITM)*

Hasil pengujian *Marshall* pada nilai *VITM* untuk mencari KAO pada campuran *SMA 0/11* dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.

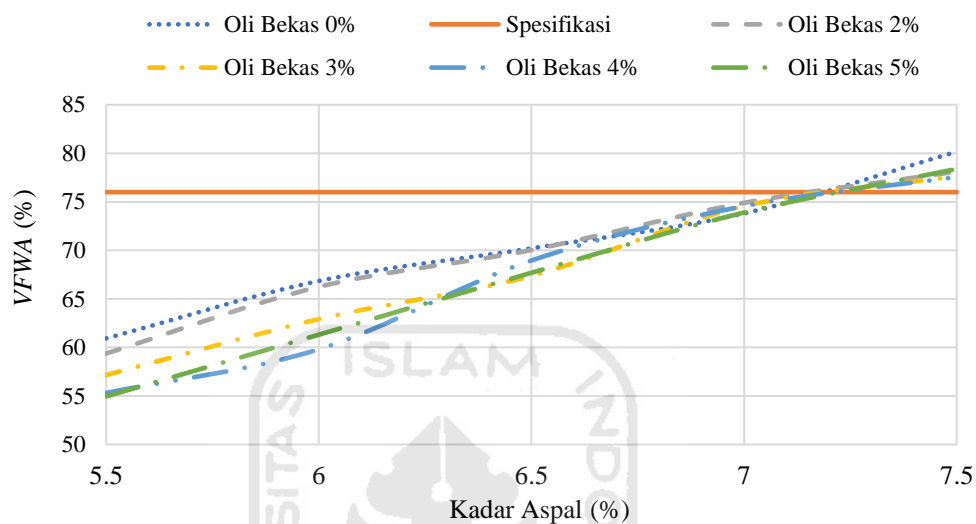


Gambar 5.9 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai *VITM*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.9 tentang grafik hubungan kadar aspal dan *VITM* pada campuran *SMA 0/11* seiring dengan penambahan kadar aspal yang digunakan pada campuran menyebabkan nilai *VITM* semakin menurun. Hal ini karena semakin banyaknya rongga yang terisi oleh aspal sehingga pori yang tersisa pada campuran semakin sedikit persentasenya, namun pengaruh penambahan oli bekas sebagai peremaja pada kadar aspal yang sama untuk mencari nilai KAO meningkatkan nilai kelelahan pada penelitian ini. Hal ini terjadi karena seiring dengan penambahan oli bekas butir material *RAP* yang saling melekat akan memecah ikatan antar butir dan membuka pori atau ruang baru pada campuran dalam kondisi kadar aspal yang sama.

5. *Void Filled With Asphalt (VFWA)*

Hasil pengujian *Marshall* pada nilai *VFWA* untuk mencari KAO pada campuran *SMA 0/11* dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.

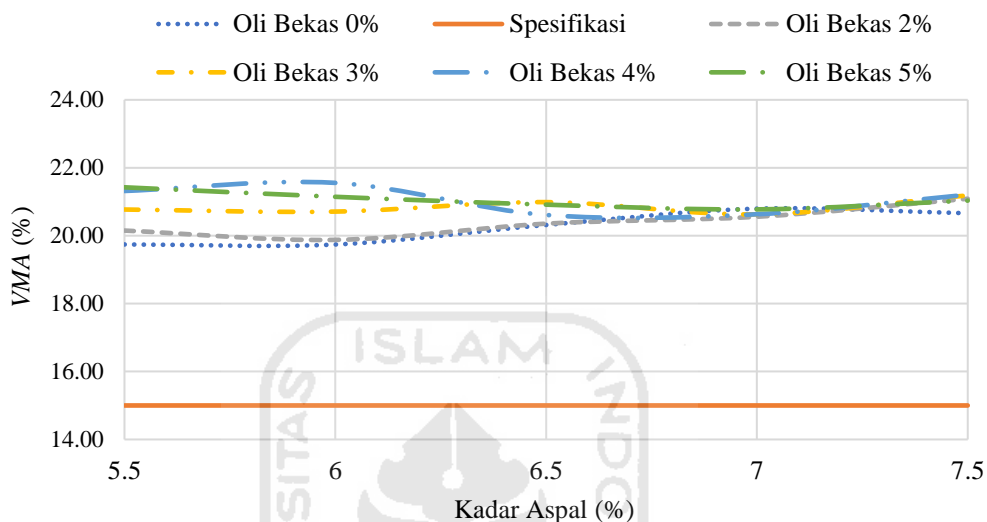


Gambar 5.10 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai *VFWA*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.10 tentang grafik hubungan kadar aspal dan *VFWA* pada campuran *SMA 0/11* seiring dengan penambahan kadar aspal yang digunakan pada campuran menyebabkan nilai *VFWA* semakin meningkat. Hal ini karena semakin banyaknya kadar aspal yang digunakan maka semakin banyak pula pori pada campuran tersebut diantara partikel agregat yang terisi oleh aspal, sehingga campuran semakin bersifat lebih fleksibel dan kedap air. Pengaruh penambahan oli bekas pada kadar aspal yang sama relatif menurunkan nilai *VFWA*. Hal ini terjadi karena penambahan oli bekas yang berlebih menyebabkan ruang yang baru karena pelepasan ikatan antara agregat pada *RAP* melunak dan menyebabkan *void* yang terselimuti aspal menjadi lebih sedikit dalam kondisi kadar aspal yang sama.

6. Void Mineral Aggregate (VMA)

Hasil pengujian *Marshall* pada nilai *VMA* untuk mencari KAO pada campuran *SMA 0/11* dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.

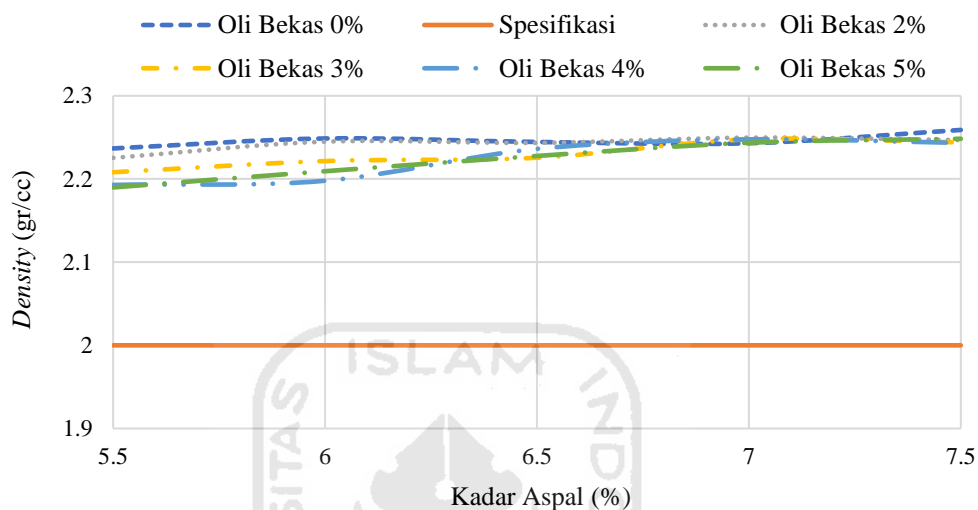


Gambar 5.11 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai VMA

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.11 tentang hubungan kadar aspal dan *VMA* pada campuran *SMA 0/11* seiring dengan penambahan kadar aspal yang digunakan pada campuran menyebabkan nilai *VMA* semakin meningkat. Hal ini karena semakin tebal aspal yang menyelimuti antar partikel agregat seiring penambahan kadar aspal. Pengaruh penambahan oli bekas relatif meningkatkan nilai *VMA* pada kadar aspal yang sama. Hal ini diakibatkan seiring dengan penambahan oli bekas pada kadar aspal yang sama membuka *void* pada *RAP* baru menjadikan agregat berjarak.

7. *Density* (kepadatan)

Hasil pengujian *Marshall* pada nilai *Density* untuk mencari KAO pada campuran SMA 0/11 campuran dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5.12 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai *Density*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.12 tentang hubungan kadar aspal dan kepadatan pada campuran SMA 0/11 seiring dengan penambahan kadar aspal yang digunakan pada campuran nilai kepadatan secara umum relatif semakin meningkat. Hal ini menyebabkan campuran tersebut relatif lebih padat dan rapat, Sehingga dapat dikatakan campuran tersebut mampu melayani beban dengan baik. Penambahan oli bekas pada kadar aspal yang sama pada penelitian ini untuk menentukan KAO relatif menurunkan nilai kepadatan. Hal ini disebabkan material *RAP* yang melunak akibat penambahan kadar aspal yang sama membuka *void* baru yang membuka ikatan antar agregat menyebabkan ikatan tidak rapat dan padat pada kondisi kadar aspal yang sama.

5.2.7 Karakteristik *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum (KAO) Penambahan Oli Bekas Sebagai Peremaja *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* pada Campuran Split Mastic Asphalt (*SMA*) 0/11 dengan Serat Rami

Hasil dari pengujian karakteristik *Marshall* diperoleh berupa nilai stabilitas (*Stabilty*), kelelahan (*Flow*), *VMA (Void in Material Aggregate)*, *VITM (Void in the Total Mix)*, *VFWA (Void Filled With Asphalt)*, *MQ (Marshall Quotient)*, dan kepadatan (*Density*). Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut ini.

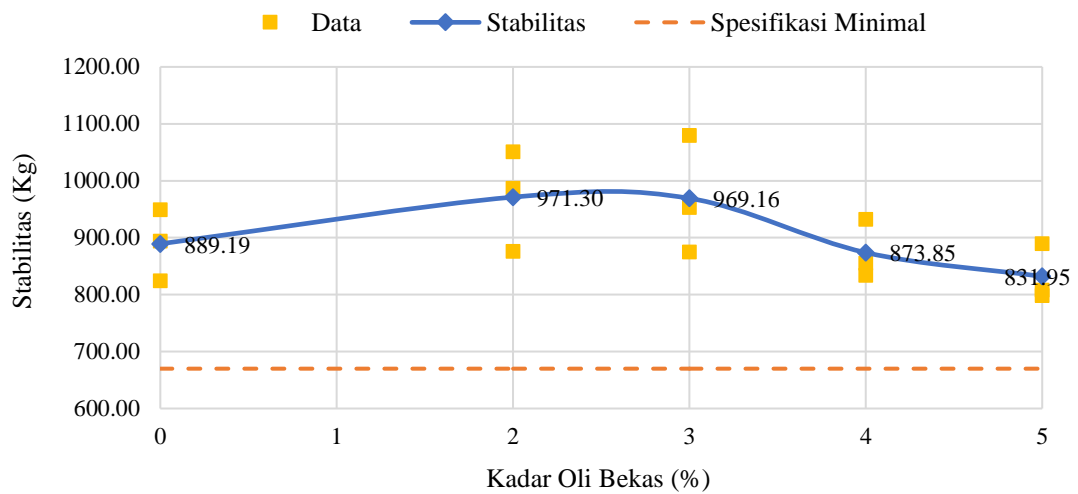
Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall*

Rekapitulasi Aspal Pen 60/70							
Kadar Oli Bekas	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
0	889,19	3,63	244,74	4,86	76,85	20,97	2,246
2	971,30	3,60	271,91	4,79	77,12	20,91	2,248
3	969,16	3,73	263,27	4,74	77,38	20,93	2,248
4	873,85	3,80	232,03	4,70	77,52	20,92	2,249
5	831,95	3,87	217,57	4,65	77,69	20,86	2,250
BINA MARGA	670	2-4	190-300	3,0-5,0	>76	>15	>2

Karakteristik *Marshall* memiliki parameter-parameter yang dijadikan acuan dalam penentuan nilai kadar aspal optimum adalah sebagai berikut.

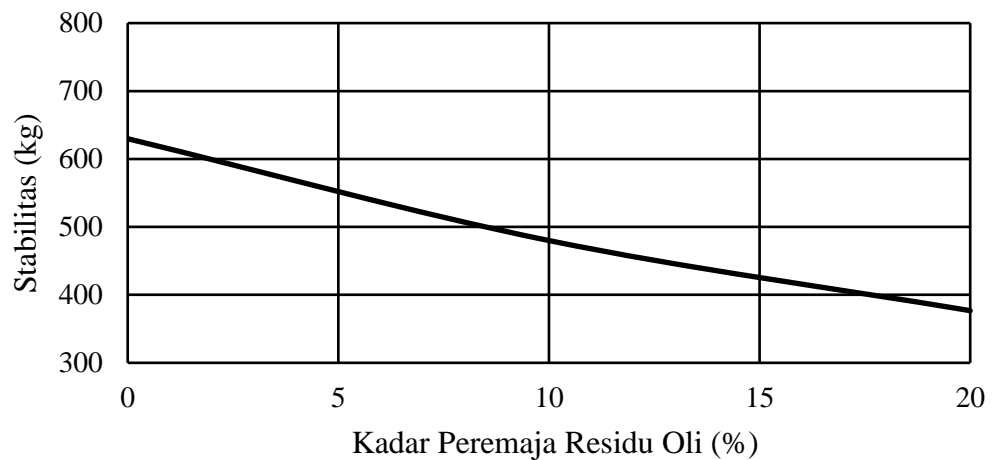
1. Pengaruh Kadar Peremaja Oli Bekas Terhadap Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan suatu campuran menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang berulang atau repetisi tanpa terjadinya perubahan bentuk. Nilai stabilitas didapatkan dari *interlock* antar agregat dan gaya ikat aspal terhadap agregat dalam campuran aspal beton. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi nilai stabilitas diantaranya adalah tekstur permukaan agregat, kepadatan campuran, dan kadar aspal. Grafik hubungan kadar peremajaan dengan nilai stabilitas dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5.13 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai Stabilitas Pada Nilai KAO

Berdasarkan grafik hubungan kadar peremaja dengan nilai stabilitas dapat dilihat penambahan kadar peremaja 0% sampai 2% mengalami kenaikan, kemudian mengalami penurunan pada kadar peremaja 3% sampai 5%. Hal ini menunjukkan penambahan kadar peremaja oli bekas mengalami peningkatan hingga kadar optimum kemudian nilai stabilitas semakin menurun. Penurunan nilai stabilitas pada campuran di karenakan aspal lama pada material *RAP* yang ditambahkan peremaja oli bekas menjadi terlalu lunak sehingga menurunkan daya lekat terhadap agregat dan menurunkan *interlocking* antar agregat pada campuran. Penggunaan serat rami pada penelitian ini memiliki pengaruh mengisi ruang rongga antar agregat serta menyerap oli pada campuran sehingga meningkatkan nilai stabilitas. Perubahan nilai stabilitas terhadap penambahan variasi kadar peremaja oli bekas menunjukkan tidak signifikan berdasarkan analisis statistik *ANOVA*. Penelitian ini sejalan dengan yang dilakukan oleh Wikanta (2010) dan Sumantri,dkk (2014) bahwa hubungan antara stabilitas dan kadar peremaja adalah berbanding terbalik, di mana semakin banyak peremaja yang diberikan akan menghasilkan nilai stabilitas yang semakin kecil pada semua proporsi bahan peremaja. Berikut gambar grafik yang didapatkan dari hasil penelitian Wikanta (2010) dapat dilihat pada Gambar 5.14



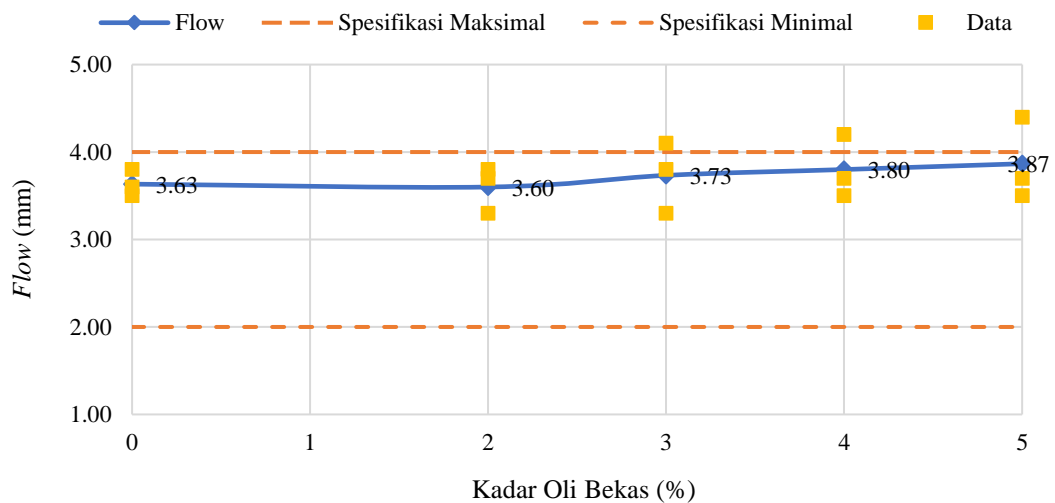
Gambar 5.14 Grafik Hubungan Kadar Peremaja Residu Oli Dengan Nilai Stabilitas

(Sumber: Wikanta, 2010)

Berdasarkan grafik hubungan kadar peremaja dengan nilai stabilitas dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya kadar peremaja residu oli maka nilai stabilitas akan semakin menurun. Hal ini disebabkan penambahan residu oli sebagai peremaja yang semakin tinggi membuat aspal semakin encer sehingga stabilitas menurun karena hilangnya daya lekat aspal terhadap agregat dan gaya *interlocking* antar agregat menjadi berkurang.

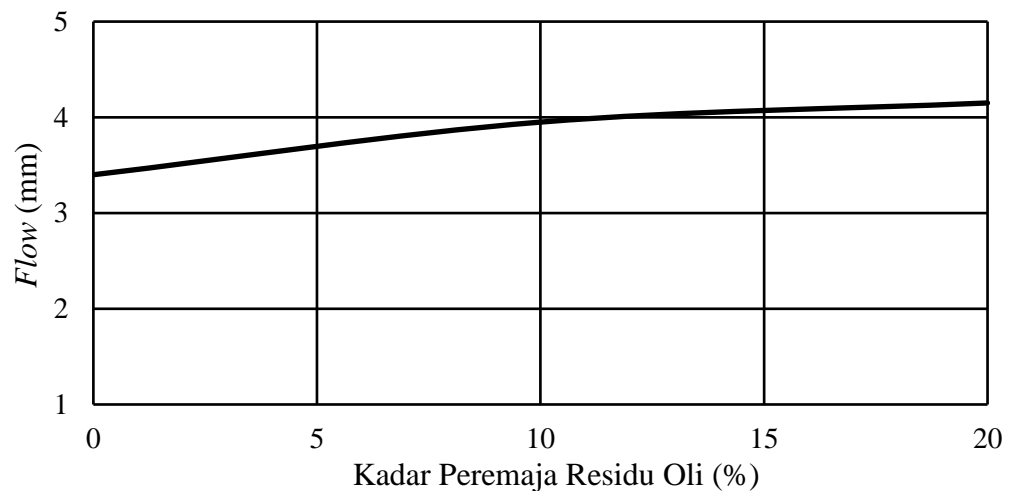
2. Pengaruh Kadar Peremaja Oli Bekas Terhadap Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk atau deformasi suatu campuran yang disebabkan pembebanan sampai batas maksimum yang dinyatakan dalam satuan panjang (mm). Nilai *flow* yang rendah mengindikasikan campuran tersebut memiliki rongga yang tidak terisi oleh aspal sehingga durabilitasnya menurun, begitu juga sebaliknya. Nilai *flow* dipengaruhi oleh viskositas aspal, suhu, gradasi agregat, dan tingkat kepadatan campuran. Grafik hubungan kadar peremaja dengan nilai *Flow* dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.



Gambar 5.15 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai *Flow* Pada Nilai KAO

Berdasarkan grafik hubungan kadar peremaja dengan nilai *flow* dapat dilihat bahwa penambahan kadar peremaja oli bekas 0% samapi 5% menaikkan nilai kelelehan (*flow*). Peningkatan nilai *flow* menunjukkan jika campuran bersifat lentur dan plastis. Hal ini di karenakan seiring penambahan peremaja oli bekas membuat material *RAP* melunak dan licin sehingga kelelehan (*flow*) meningkat, serta penggunaan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan mudah terjadinya perubahan bentuk (deformasi). Penggunaan serat rami dalam penelitian ini memiliki pengaruh mengikat aspal menyerap oli pada campuran sehingga kenaikan nilai *flow* tidak terlalu signifikan. Perubahan nilai kelelehan (*flow*) terhadap penambahan variasi kadar peremaja oli bekas menunjukkan tidak signifikan berdasarkan analisis statistik *ANOVA*. Penelitian ini sejalan dengan yang dilakukan oleh Wikanta (2010). Berikut adalah grafik hubungan kadar peremaja dan nilai kelelehan dari hasil pengujian yang telah dilakukan oleh Wikanta (2010) dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut.



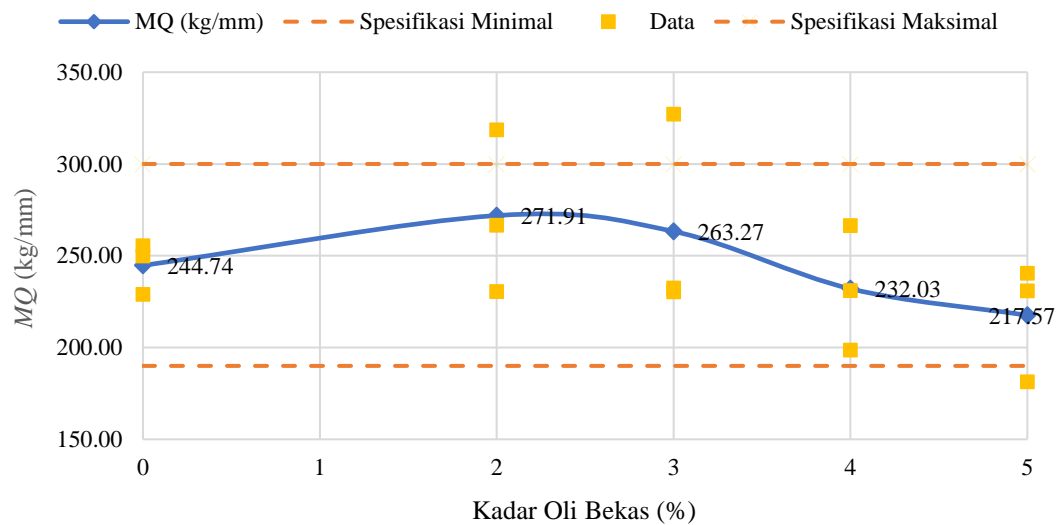
Gambar 5.16 Grafik Hubungan Kadar Peremaja Residu Oli Dengan Nilai Flow

(Sumber: Wikanta, 2010)

Berdasarkan grafik hubungan kadar peremaja dengan nilai *flow* dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya kadar peremaja residu oli maka nilai kelelehan (*flow*) akan semakin meningkat. Pengujian statistik *ANOVA* menunjukkan tidak signifikan terhadap nilai *flow*.

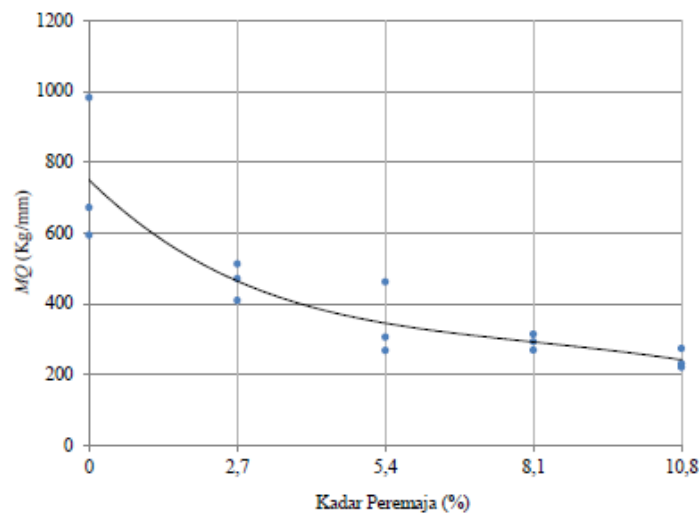
- Pengaruh Kadar Peremaja Oli Bekas Terhadap Nilai *Marshall Quotient (MQ)*

Nilai *MQ* adalah hasil bagi antara stabilitas dan *flow* yang digunakan untuk mengetahui tingkat fleksibilitas dari suatu lapis perkerasan. Nilai *MQ* menunjukkan tingkat kegetasan atau kelenturan dari suatu campuran beton aspal. Nilai *MQ* yang tinggi menunjukkan tingkat fleksibilitas rendah atau getas, sedangkan nilai *MQ* yang rendah menunjukkan tingkat fleksibilitas tinggi atau lentur. Grafik hubungan kadar peremaja dengan nilai *MQ* dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut.



Gambar 5.17 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai MQ Pada Nilai KAO

Berdasarkan grafik hubungan kadar peremaja dengan nilai *Marshall Quotient* (MQ) dapat dilihat bahwa pada penambahan kadar peremaja oli bekas 0% sampai 2% menaikkan nilai MQ . Kemudian pada penambahan kadar peremaja oli bekas 3% sampai 5% terjadi penurunan nilai MQ sehingga pada kadar peremaja tersebut campuran mudah mengalami deformasi saat menerima beban lalu lintas karena campuran cenderung lentur dan fleksibel. Berdasarkan analisis statistik *ANOVA* perubahan nilai MQ terhadap penambahan variasi kadar peremaja oli bekas menunjukkan tidak signifikan. Penelitian ini sejalan dengan yang dilakukan oleh Alfathli (2019). Berikut adalah grafik hubungan kadar peremaja dan nilai MQ dari hasil pengujian yang telah dilakukan oleh Alfathli (2019) dapat dilihat pada Gambar 5.18.



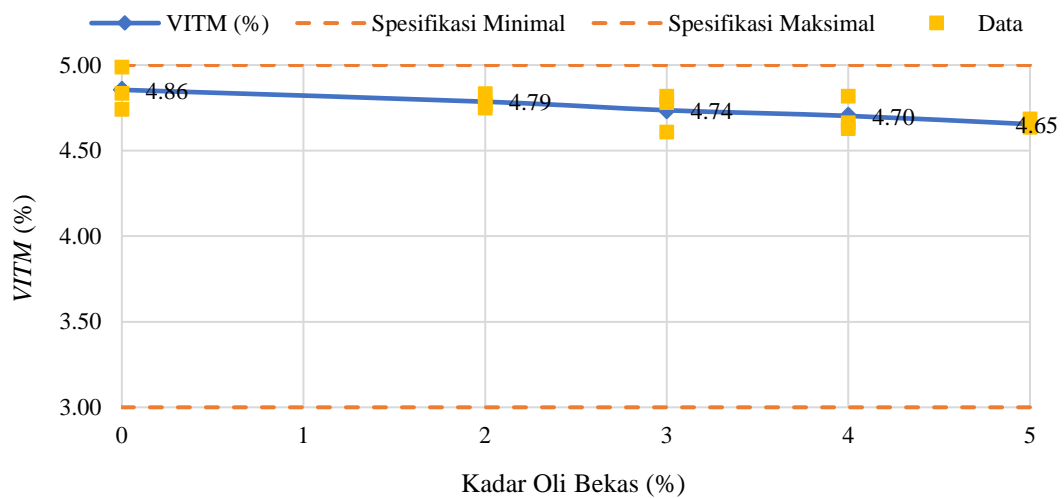
Gambar 5.18 Grafik Hubungan Kadar Peremaja Minyak Goreng Bekas

(Sumber: Alfathli, 2019)

Berdasarkan grafik hubungan kadar peremaja dengan nilai MQ dapat dilihat bahwa semakin bertambah kadar peremaja minyak goreng maka nilai MQ semakin menurun, sehingga pada campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* ini cenderung fleksibel dan lentur serta mudah mengalami deformasi saat menerima beban lalu lintas.

4. Pengaruh Kadar Peremaja Oli Bekas Terhadap Rongga Dalam Total Campuran (*VITM*)

Void In The Total Mix (VITM) merupakan persentase nilai rongga antar agregat yang terdapat pada campuran beton aspal yang telah dipadatkan. *VITM* berfungsi sebagai tempat bergesernya butir agregat pada campuran ketika terkena beban lalu lintas dan sebagai tempat ketika aspal menjadi lunak karena perubahan temperatur. Nilai *VITM* yang rendah menunjukkan campuran kedap terhadap air namun dapat menyebabkan terjadinya *bleeding*, sedangkan nilai *VITM* yang tinggi menunjukkan campuran kurang kedap terhadap air dapat menurunkan sifat durabilitas pada campuran. Besaran nilai *VITM* dipengaruhi oleh bentuk agregat, gradasi agregat, temperatur pemadatan, energi pemadatan, dan jenis aspal. Grafik hubungan kadar peremaja dengan nilai *VITM* dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut.

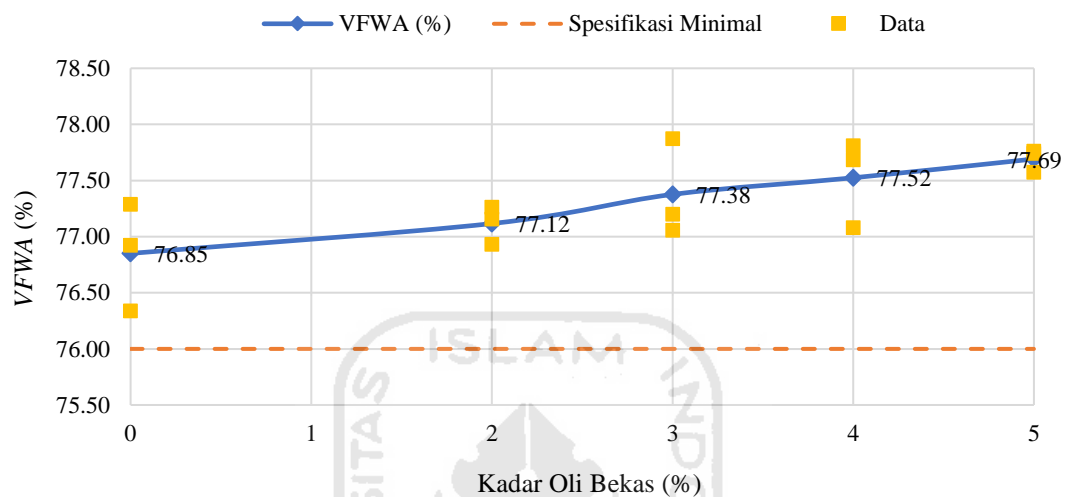


Gambar 5.19 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai *VITM* Pada Nilai KAO

Berdasarkan grafik hubungan kadar peremaja oli bekas dan nilai *VITM* dapat dilihat bahwa pada nilai *VITM* mengalami penurunan seiring penambahan kadar peremaja oli bekas. Hal ini menunjukkan pengaruh oli bekas melunakan aspal lama pada material *RAP* yang memudahkan aspal lama untuk bergabung dengan aspal baru serta masuk kedalam rongga antar agregat pada campuran yang menyebabkan campuran menjadi padat dan kedap sehingga nilai *VITM* menurun. Penggunaan serat rami memiliki pengaruh mengisi ruang rongga antar agregat yang menyebabkan campuran menjadi padat. Berdasarkan analisis statistik *ANOVA* perubahan nilai *VITM* terhadap penambahan variasi kadar peremaja oli bekas menunjukkan tidak signifikan. Penelitian ini sejalan dengan yang dilakukan oleh Nono (2016) bahwa semakin banyak penambahan bahan peremaja maka menaikkan nilai penetrasi dan menurunkan nilai titik lembek yang memudahkan aspal mengisi rongga antar agregat sehingga nilai *VITM* pada campuran menjadi menurun.

5. Pengaruh Kadar Peremaja Oli Bekas Terhadap Rongga Terisi Aspal (*VFWA*)
Void Filled With Asphalt (VFWA) adalah persentase nilai rongga antar agregat yang terisi oleh aspal pada campuran beton aspal yang biasa disebut dengan selimut aspal. Nilai *VFWA* berbanding terbalik dengan nilai *VITM*. Nilai *VFWA*

yang semakin tinggi menunjukkan semakin banyak rongga antar agregat yang terisi oleh aspal, sehingga kedekatan campuran terhadap air semakin baik. Grafik hubungan kadar peremaja dengan nilai *VFWA* dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut.

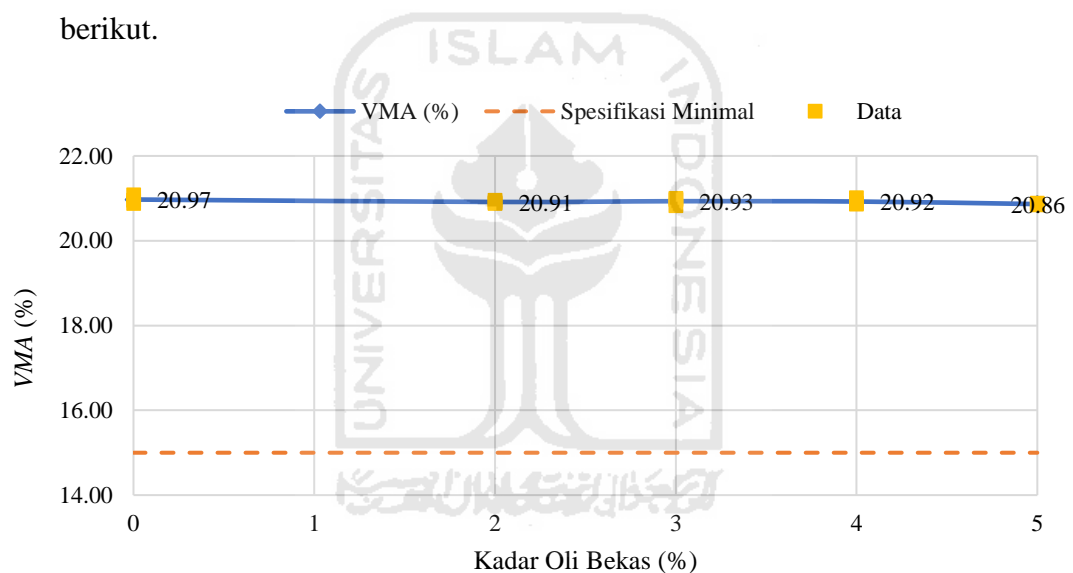


Gambar 5.20 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai *VFWA* Pada Nilai KAO

Berdasarkan grafik hubungan kadar peremaja oli bekas terhadap nilai *VFWA* dapat dilihat bahwa nilai *VFWA* semakin besar seiring dengan penambahan kadar peremaja. Hal ini disebabkan karena aspal lama pada material *RAP* yang diremajakan oleh oli bekas menjadi lunak sehingga dapat mengisi ruang antar agregat pada campuran sehingga campuran menjadi padat. Nilai *VFWA* yang tinggi menunjukkan kedekatan campuran terhadap air semakin meningkat sehingga durabilitas pada campuran meningkat. Berdasarkan analisis statistik *ANOVA* perubahan nilai *VFWA* terhadap penambahan variasi kadar peremaja oli bekas menunjukkan tidak signifikan. Penelitian berbeda dengan Nono (2016) bahwa campuran dengan penambahan bahan peremaja oli bekas menurunkan nilai *VFWA* seiring bertambahnya kadar peremaja. Hal ini disebabkan karena rongga antar butir agregat masih cukup besar sehingga memudahkan aspal masuk kedalam rongga-rongga campuran dan menjadikan campuran tersebut menjadi padat akibat terisi aspal. Pada penelitian tersebut seharusnya nilai *VITM*

dan *VFWA* berbanding terbalik karena rongga atau pori pada campuran yang terisi aspal menyebabkan nilai *VITM* turun dan nilai *VFWA* naik.

6. Pengaruh Peremaja Oli Bekas Terhadap Rongga Antar Butir Agregat (*VMA*)
Void Mineral Aggregate (VMA) adalah persentase rongga antara agregat dalam campuran agregat dan aspal yang sudah dipadatkan termasuk rongga yang terisi aspal. Nilai *VMA* menunjukkan jarak antar agregat dalam campuran. Nilai *VMA* yang tinggi menunjukkan kerenggangan antar agregat yang disebabkan semakin besar rongga antar agregat atau semakin tebal selimut aspal antar agregat. Grafik hubungan kadar peremaja dengan nilai *VMA* dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut.



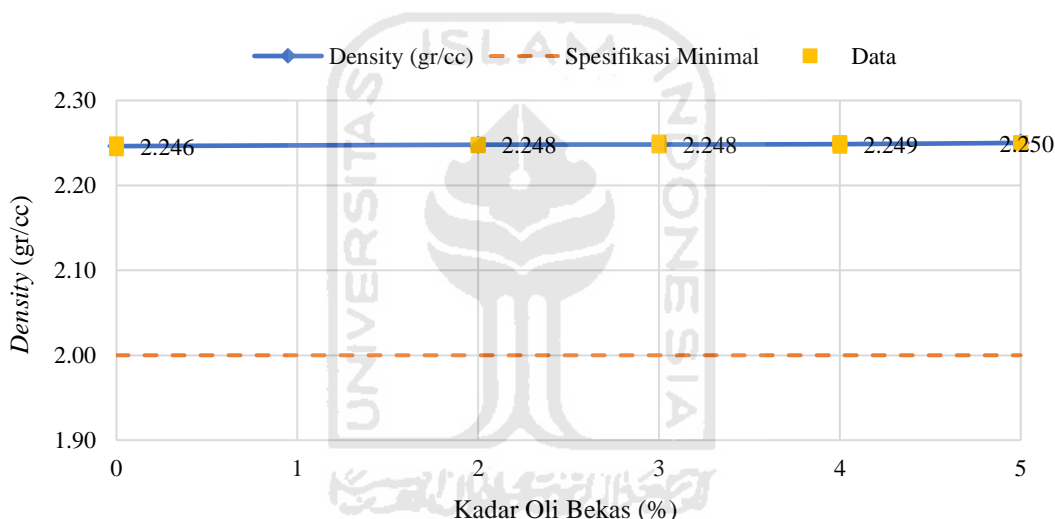
Gambar 5.21 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai *VMA* Pada Nilai KAO

Berdasarkan grafik hubungan kadar peremaja oli bekas terhadap nilai *VMA* dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar peremaja nilai *VMA* mengalami penurunan namun tidak signifikan. Penurunan ini disebabkan oleh kadar aspal cenderung naik sehingga rongga campuran antar agregat semakin mengisi yang menjadikan pori semakin kecil. Berdasarkan analisis statistik *ANOVA* perubahan nilai *VMA* terhadap penambahan variasi kadar peremaja oli bekas menunjukkan tidak signifikan. Penelitian ini sejalan dengan yang dilakukan oleh Nono (2016) bahwa campuran dengan penambahan bahan peremaja

menurunkan nilai *VMA*. Hal ini disebabkan karena aspal yang menyelimuti agregat semakin tebal sehingga jarak antar agregat semakin jauh yang berakibat naiknya nilai *VMA*.

7. Pengaruh Kadar Peremaja Oli Bekas Terhadap Nilai Kepadatan (*Density*)

Kepadatan (*Density*) adalah tingkat kerapatan antara agregat dan aspal pada suatu campuran perkerasan tertentu yang telah dipadatkan dan dinyatakan dalam satuan gr/cc. Nilai *density* yang tinggi menunjukkan campuran semakin rapat dan padat. Grafik hubungan kadar peremaja dengan nilai *density* dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut.



Gambar 5.22 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai *Density* Pada Nilai KAO

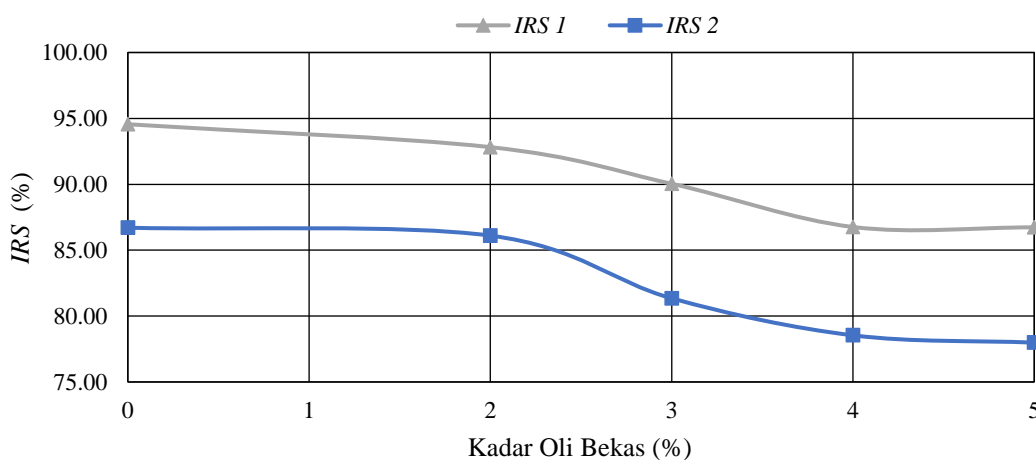
Berdasarkan grafik hubungan kadar peremaja oli bekas dengan nilai *density* dapat dilihat seiring penambahan kadar peremaja oli bekas nilai *density* mengalami kenaikan namun tidak signifikan. Hal ini disebabkan melunaknya material *RAP* serta penggunaan kadar aspal yang tinggi menyebabkan campuran semakin rapat dan padat. Penggunaan serat rami pada penelitian ini memiliki pengaruh mengisi dan mengikat ruang antar agregat sehingga meningkatkan nilai *density*. Berdasarkan analisis statistik *ANOVA* perubahan nilai kepadatan (*density*) terhadap penambahan variasi kadar peremaja oli bekas menunjukkan tidak signifikan.

5.2.8 Karakteristik *Index of Retained Strength (IRS)* Penambahan Oli Bekas Sebagai Peremaja *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* pada Campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 dengan Serat Rami

Hasil pengujian *IRS* berupa nilai perbandingan stabilitas pada perendaman ½ jam, 24 jam, dan 48 jam. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui daya tahan (*durability*) campuran beton aspal terhadap pengaruh air. Nilai *IRS* yang tinggi menunjukkan campuran perkerasan memiliki daya tahan yang baik terhadap air, sehingga tahan terhadap kerusakan oleh air. Kriteria minimum untuk nilai *Indirect of Retained Strength* adalah 90% (Bina Marga 2010). Hasil pengujian *IRS* dapat dilihat pada Tabel 5.15 dan grafik hubungan kadar peremaja dengan nilai *IRS* dapat dilihat pada Gambar 5.23 berikut.

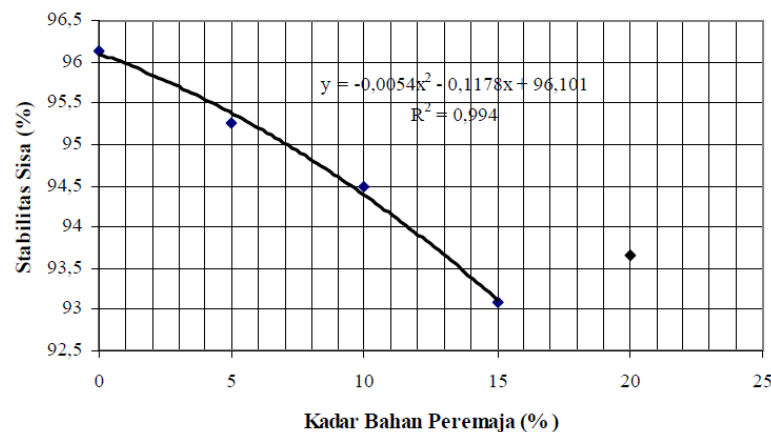
Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Index of Retained Strength (IRS)*

<i>Index of Retained Strength (IRS)</i>					
Kadar Oli Bekas (%)	Stabilitas (kg)			Nilai <i>IRS</i> (%)	
	0,5 Jam	24 Jam	48 Jam	1	2
0	889,19	840,77	770,96	94,55	86,70
2	971,30	901,54	836,34	92,82	86,10
3	969,16	872,63	788,37	90,04	81,35
4	873,85	758,16	686,31	86,76	78,54
5	831,95	721,59	648,79	86,73	77,98



Gambar 5.23 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai *IRS* 1 dan *IRS* 2 Pada Nilai KAO

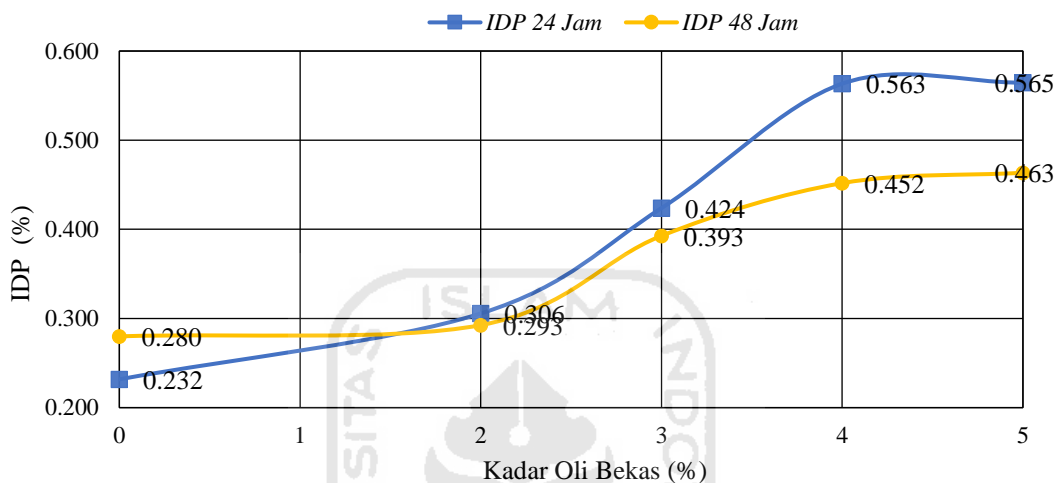
Berdasarkan grafik hubungan kadar peremaja oli bekas dengan nilai *IRS* dapat dilihat bahwa pada kadar peremaja 0% sampai 3% nilai *IRS* memenuhi syarat Bina Marga 2010 yaitu > 90%, namun pada kadar peremaja 4% sampai 5% tidak memenuhi syarat Bina Marga 2010. Hal ini menunjukkan daya tahan (*durability*) campuran beton aspal terhadap pengaruh air menurun seiring penambahan kadar peremaja oli bekas. Penurunan tersebut disebabkan oleh aspal lama pada material *RAP* yang ditambahkan peremaja oli bekas menjadi terlalu lunak sehingga menurunkan tingkat ikatan adhesi antara aspal dan agregat dan menurunkan *interlocking* antar agregat pada campuran. Berkurangnya kemampuan campuran mempertahankan stabilitas akibat pengaruh air yang masuk ke pori campuran seiring dengan lamanya rendaman menurunkan keawetan / daya tahan (*durability*) campuran beton aspal. Penggunaan serat rami pada penelitian ini memiliki pengaruh mengisi dan mengikat ruang pada campuran serta menyerap oli pada campuran sehingga yang menyebabkan campuran menjadi padat dan tidak mudah mengalami oksidasi. Berdasarkan analisis statistik *ANOVA* perubahan nilai *IRS* terhadap penambahan variasi kadar peremaja oli bekas menunjukkan signifikan. Penurunan nilai *IRS* 24 jam dan *IRS* 48 jam terbesar pada kadar peremaja oli bekas 5 % dengan nilai sebesar 7,83% dan 8,72%. Penelitian ini sejalan dengan Kasan (2009) bahwa terjadi penurunan nilai stabilitas sisa seiring bertambahnya kadar bahan peremaja solar dalam campuran *RAP*. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya gaya *interlocking* antar agregat dalam campuran dan semakin kecilnya gaya lekat aspal terhadap agregat. Berikut hubungan antara nilai *IRS* dengan penambahan kadar peremaja menurut Kasan (2009) dapat dilihat pada Gambar 5.24.



Gambar 5.24 Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai *IRS*
(Sumber: Kasan, 2009)

5.2.9 Indeks Durabilitas Pertama (IDP) Penambahan Oli Bekas Sebagai Peremaja *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* pada Campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 dengan Serat Rami

Hasil pengujian IDP berupa presentase kehilangan kekuatan selama perendaman. Grafik hasil IDP 24 jam dan 48 jam dapat dilihat pada Gambar 5.25.

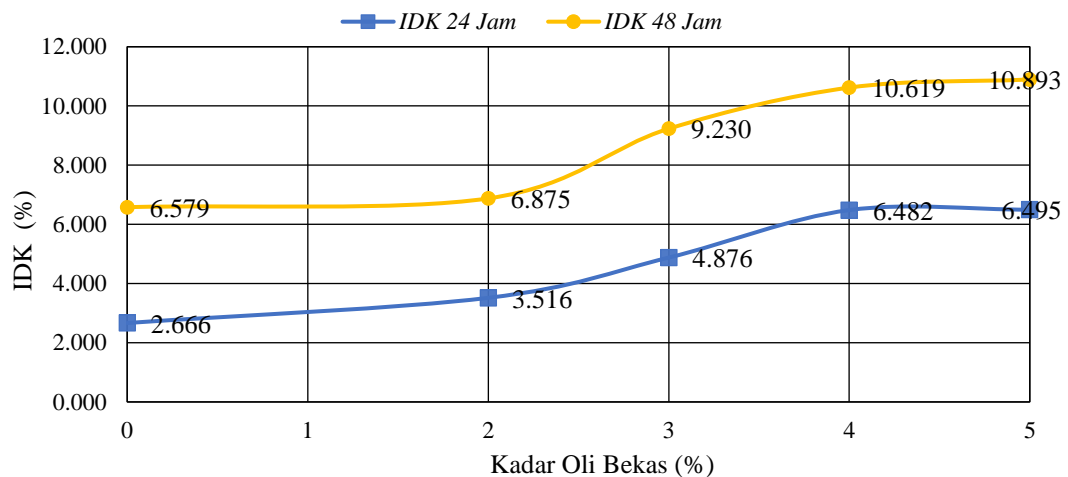


Gambar 5.25 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai IDP 24 Jam dan Nilai IDP 48 Jam

Berdasarkan grafik dari hubungan kadar peremaja oli bekas dengan nilai IDP 24 jam dan 48 jam dapat dilihat bahwa pada nilai “r” positif sehingga menunjukkan adanya kehilangan kekuatan seiring peningkatan kadar peremaja oli bekas. Namun jika dibandingkan pada IDP 24 jam mengalami kehilangan kekuatan lebih besar dari IDP 48 jam pada kadar peremaja oli bekas 2% sampai 5%.

5.2.10 Indeks Durabilitas Kedua (IDK) Penambahan Oli Bekas Sebagai Peremaja *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* pada Campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 dengan Serat Rami

Hasil pengujian IDK berupa indikator lain yang dapat digunakan untuk melihat tingkat durabilitas campuran aspal selain nilai *IRS* dan IDP. Grafik hasil IDK 24 jam dan 48 jam dapat dilihat pada Gambar 5.26 berikut.

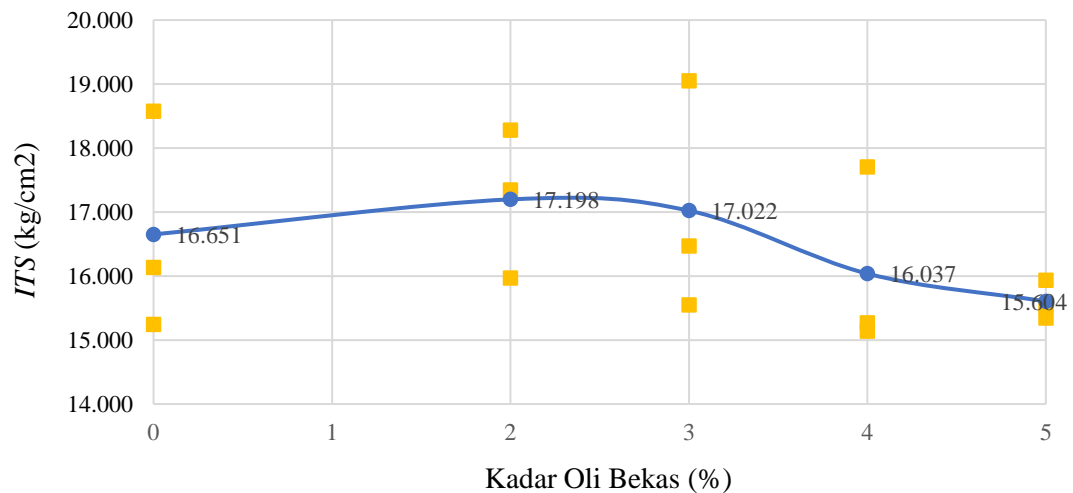


Gambar 5.26 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai IDK 24 Jam dan Nilai IDK 48 Jam

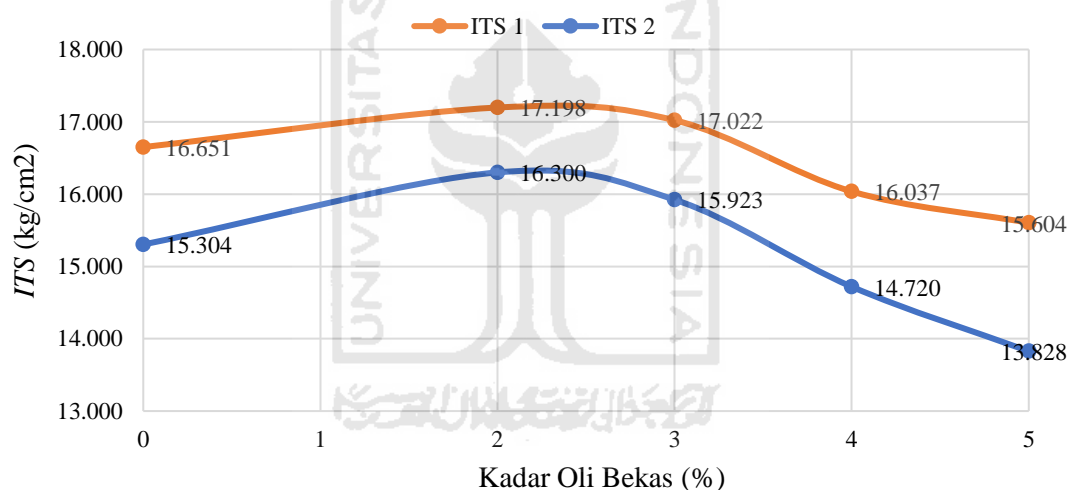
Berdasarkan grafik dari hubungan kadar peremaja oli bekas dengan nilai IDK 24 jam dan 48 jam dapat dilihat bahwa pada nilai “a” positif sehingga menunjukkan adanya kehilangan kekuatan seiring peningkatan kadar peremaja oli bekas. Namun jika dibandingkan pada IDK 48 jam mengalami kehilangan kekuatan lebih besar dari IDK 24 jam.

5.2.11 Karakteristik *Indirect Tensile Streght (ITS)* Penambahan Oli Bekas Sebagai Peremaja *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* pada Campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 dengan Serat Rami

Pengujian *ITS* yang bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tarik dari campuran beton aspal akibat beban lalu lintas yang diterima. Nilai *ITS* yang tinggi menunjukkan campuran beton aspal memiliki kuat tarik yang baik. Pada penelitian ini pengujian *ITS* dilakukan 2 tipe pengujian yaitu menggunakan metode pengujian *ITS uncondition* yaitu pengujian kuat tarik tidak langsung awal (kg/cm^2) dan pengujian *ITS condition* yaitu pengujian kuat tarik tidak langsung dengan durasi perendaman 24 jam (kg/cm^2). Grafik hubungan kadar peremaja dengan nilai *ITS* dapat dilihat pada Gambar 5.27 berikut.



Gambar 5.27 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai *ITS uncondition*



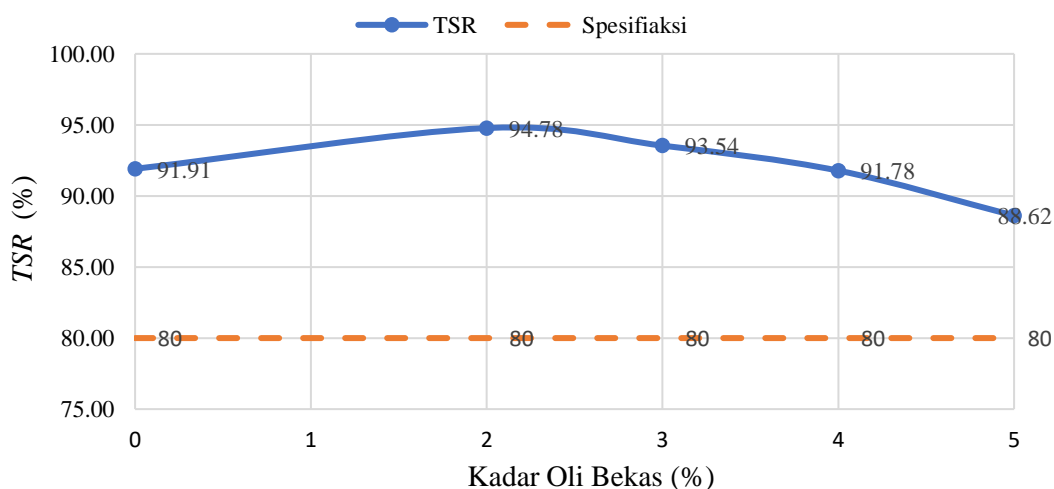
Gambar 5.28 Grafik Perbandingan Nilai *ITS uncondition* & *ITS condition*

Berdasarkan grafik hubungan kadar peremaja oli bekas dengan nilai *ITS uncondition* dan *ITS condition* dapat dilihat pada kadar peremaja 0% sampai 2% mengalami kenaikan hingga kondisi optimum, kemudian pada kadar peremaja 3% sampai 5% mengalami penurunan seiring penambahan variasi kadar peremaja. Hal ini menunjukkan pada kadar oli bekas 2% dapat bekerja optimal untuk meremajakan aspal lama pada material *RAP* dengan nilai kuat tarik campuran sebesar 17,19 kg/cm² dan 16,3 kg/cm² akibat meningkatnya ikatan adhesi antara aspal dan agregat serta *interlocking* antar agregat pada campuran. Pada kadar oli bekas 3% samapai 5% terjadi penurunan nilai kuat tarik disebabkan oleh aspal lama pada material *RAP* yang

ditambahkan peremaja oli bekas menjadi terlalu lunak sehingga menurunkan tingkat ikatan adhesi antara aspal dan agregat dan menurunkan *interlocking* antar agregat pada campuran. Pengaruh penggunaan serat rami pada penelitian ini yaitu mengisi dan mengikat ruang antar agregat dan aspal sehingga menguatkan ikatan antar agregat pada campuran. Perubahan nilai *ITS* terhadap penambahan variasi kadar peremaja oli bekas menunjukkan tidak signifikan berdasarkan analisis statistik *ANOVA*. Penelitian ini sejalan dengan yang dilakukan oleh Alfathli (2019) bahwa semakin banyak kadar peremaja minyak goreng bekas pakai maka semakin besar pula nilai *ITS* hingga mencapai titik optimum kemudian nilai *ITS* menurun. Berdasarkan hasil perbandingan kedua pengujian *ITS* pada penelitian ini dapat dilihat bahwa nilai *ITS uncondition* relatif lebih tinggi daripada *ITS condition*. Hal ini disebabkan pengaruh suhu dan air pada perendaman mempengaruhi kondisi campuran, sehingga campuran melunak dan air mengurangi gaya ikat antar agregat dengan masuk ke pori-pori campuran tersebut.

5.2.12 Karakteristik *Tensile Strength Ratio (TSR)* Penambahan Oli Bekas Sebagai Peremaja *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* pada Campuran *Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11* dengan Serat Rami

Hasil pengujian *TSR* yaitu perbandingan nilai kuat tarik pada campuran antara *ITS uncondition* dan *ITS condition*. Nilai *TSR* harus lebih besar dari 80% sesuai dengan persyaratan *Asphalt Institute*. Grafik hubungan kadar peremaja dengan nilai *TSR* dapat dilihat pada Gambar 5.29 berikut.

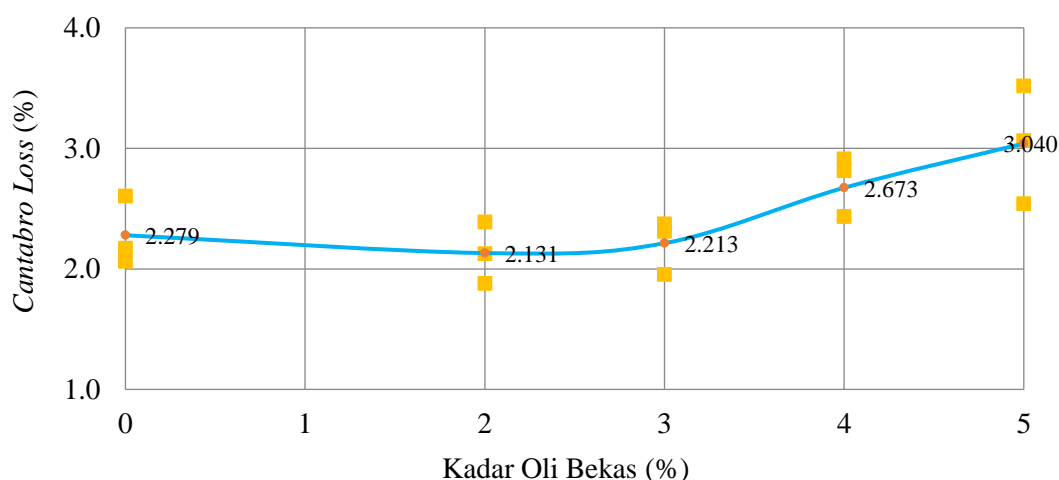


Gambar 5.29 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai *TSR*

Berdasarkan grafik hubungan kadar peremaja dengan nilai *TSR* dapat diperoleh performa kinerja campuran untuk nilai *TSR* dari setiap kadar peremaja memenuhi spesifikasi *Asphalt Institute* yaitu diatas 80% yang mengindikasikan bahwa campuran tahan terhadap kerusakan yang disebabkan oleh air. Pada kadar peremaja 0% sampai 2% terjadi peningkatan nilai *TSR*, kemudian pada kadar 3% sampai 5% mengalami penurunan nilai *TSR* yang disebabkan oleh pegas air yang menurunkan sifat adhesi dan kohesi sehingga kerekatan antar aspal dengan agregat dan kekuatan campuran berkurang seiring dengan penambahan kadar peremaja. Hal ini sejalan dengan penelitian Tajudin,dkk (2017) Nilai *TSR* akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya durasi perendaman. Hal ini disebabkan karena pengaruh air akan menyebabkan turunnya kekuatan ikatan antar agregat dengan aspal, sehingga kuat tariknya berkurang.

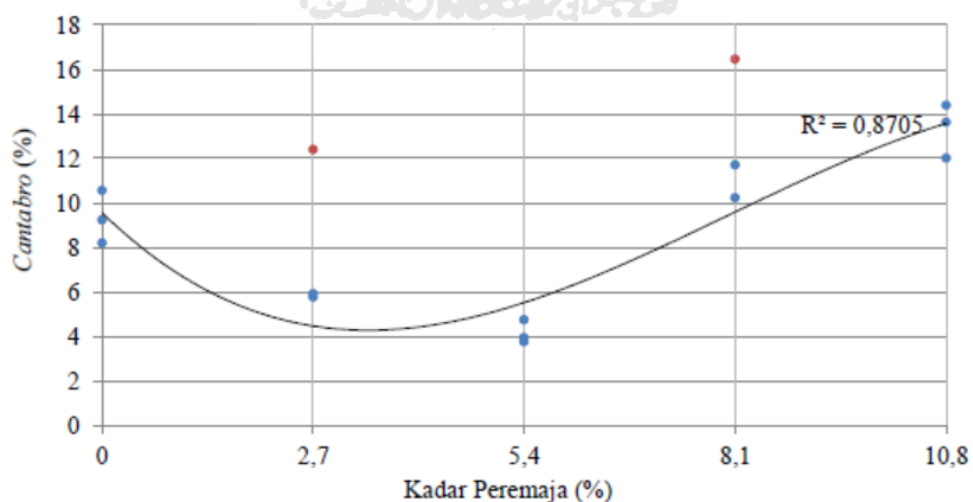
5.2.13 Karakteristik *Cantabro* Penambahan Oli Bekas Sebagai Peremaja *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* pada Campuran *Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11* dengan Serat Rami

Hasil Pengujian *Cantabro* berupa nilai ketahanan benda uji terhadap disintegrasi akibat benturan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kehilangan berat dari benda uji setelah dilakukan tes abrasi menggunakan mesin *Los Angeles*. Grafik hubungan kadar peremaja dengan nilai *Cantabro Loss* dapat dilihat pada Gambar 5.30 berikut.



Gambar 5.30 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai *Cantabro Loss*

Berdasarkan grafik hubungan antara kadar peremaja oli bekas dengan nilai *Cantabro Loss* dapat diperoleh pada kadar 0% sampai 2% mengalami penurunan nilai *Cantabro Loss* yang menunjukkan peningkatan kinerja campuran di karenakan pada kadar peremaja tersebut daya ikat material *RAP* dengan campuran baru meningkat sehingga disintegrasi akibat benturan menurun. Pada kadar 3% sampai 5% terjadi kenaikan nilai *Cantabro Loss* yang menunjukkan penurunan kinerja campuran di karenakan material *RAP* menjadi lebih lunak dan licin seiring dengan penambahan peremaja oli bekas sehingga daya lekat antar agregat berkurang dan disintegrasi akibat benturan meningkat. Penggunaan serat rami pada penelitian ini memiliki pengaruh mengisi dan mengikat ruang rongga antar agregat dan untuk memperkuat campuran sehingga mengurangi disintegrasi yang terjadi pada campuran akibat benturan. Berdasarkan analisis statistik *ANOVA* perubahan nilai *Cantabro Loss* terhadap penambahan variasi kadar peremaja oli bekas menunjukkan signifikan. Peningkatan nilai *Cantabro Loss* terbesar terjadi pada kadar peremaja oli bekas 5 % dengan nilai sebesar 3,04%, meningkat sebesar 33,4% dibandingkan campuran tanpa peremaja oli bekas. Penelitian ini sejalan dengan yang dilakukan oleh Alfathli (2019). Berikut adalah grafik hubungan kadar peremaja dan nilai *Cantabro Loss* dari hasil pengujian yang telah dilakukan oleh Alfathli (2019) dapat dilihat pada Gambar 5.31.



Gambar 5.31 Grafik Hubungan Kadar Peremaja dengan Nilai *Cantabro*
(Sumber: Alfathli, 2019)

Berdasarkan grafik hubungan kadar peremaja dengan nilai *Cantabro Loss* dapat dilihat bahwa semakin banyak kadar peremaja minyak goreng bekas pakai maka nilai *Cantabro Loss* semakin menurun pada kadar peremaja tertentu kemudian mengalami kenaikan.

5.3 Pengaruh Penambahan Kadar Peremaja Oli Bekas Sebagai Peremaja *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* pada Campuran *Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11* dengan Serat Rami

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini maka dapat diperoleh kesimpulan sesuai dengan kadar peremaja oli bekas yang digunakan. Penggunaan variasi kadar oli bekas 0%, 2%, 3%, 4%, dan 5% masing-masing memberikan pengaruh yang berbeda pada kinerja campuran *Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11*.

Pengaruh penambahan variasi oli bekas sebagai peremaja pada material *RAP* terhadap campuran *Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11* dengan serat rami dapat meningkatkan beberapa parameter uji yang ditinjau hingga kondisi optimum pada rentang 2%-3%, namun seiring dengan penambahan kadar peremaja memberikan efek deformasi pada campuran akibat aspal lama pada material *RAP* melunak sehingga menurunkan daya lekat terhadap agregat dan menurunkan *interlocking* antar agregat pada campuran. Pada penelitian ini disarankan rentang kadar peremaja 2%-3% dengan kadar peremaja optimum yang diperoleh sebesar 2,5% dari berat aspal lama pada material *RAP*. Berikut merupakan hasil rekapitulasi hasil pengujian karakteristik campuran *SMA 0/11* yang dirangkum dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut.

Tabel 5.16 Rangkuman Hasil Pengujian Campuran SMA 0/11

Parameter	Kadar Peremaja Oli Bekas (%)					Statistik ANOVA
	0	2	3	4	5	
Stabilitas (kg)	899,19	971,30	969,16	873,85	831,95	Tidak Signifikan
<i>Flow</i> (mm)	3,63	3,60	3,73	3,80	3,87	Tidak Signifikan
<i>MQ</i> (kg/mm)	244,74	271,91	263,27	232,03	217,57	Tidak Signifikan

Lanjutan Tabel 5.16 Rangkuman Hasil Pengujian Campuran SMA 0/11

<i>VITM</i> (%)	4,86	4,79	4,74	4,70	4,65	Tidak Signifikan
<i>VFWA</i> (%)	76,85	77,12	77,38	77,52	77,69	Tidak Signifikan
<i>VMA</i> (%)	20,97	20,91	20,93	20,92	2,25	Tidak Signifikan
<i>Density</i> (gr/cc)	2,246	2,248	2,248	2,249	2,250	Tidak Signifikan
<i>IRS 24 Jam</i> (%)	840,77	901,54	872,63	758,16	721,59	Signifikan
<i>IRS 48 Jam</i> (%)	770,96	836,34	788,37	686,31	648,79	Signifikan
<i>ITS</i> (Kg/cm ²)	16,65	17,19	17,02	16,03	15,60	Tidak Signifikan
<i>Cantabro</i> (%)	2,279	2,131	2,213	2,673	3,040	Signifikan

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dari pengaruh oli bekas sebagai bahan peremaja pada *RAP* terhadap karakteristik campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 dengan serat rami dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Penambahan variasi kadar peremaja oli bekas sebagai bahan peremaja meningkatkan nilai Stabilitas dan *MQ* hingga optimum pada kadar 2%-3% kemudian mengalami penurunan seiring penambahan kadar peremaja. Pada nilai *VITM* dan *VMA* mengalami penurunan seiring penambahan kadar peremaja, sedangkan nilai *Flow*, *VFWA*, dan *Density* mengalami kenaikan seiring penambahan kadar peremaja. Penambahan variasi kadar peremaja oli bekas memiliki kekuatan yang paling optimal dari kadar 2% hingga 3% namun semakin tinggi kadar peremaja yang diberikan menyebabkan terjadinya deformasi di karenakan aspal lama pada *RAP* yang ditambahkan peremaja oli bekas menjadi terlalu lunak sehingga menurunkan daya lekat terhadap agregat dan menurunkan *interlocking* antar agregat pada campuran.
2. Pengaruh variasi kadar peremaja oli bekas menurunkan nilai *Index of Retained Strength (IRS)* seiring penambahan kadar peremaja oli bekas baik variasi perendaman 24 jam maupun 48 jam. Pada *IRS* 24 jam diperoleh persentase sebesar 94,55%, 92,82%, 90,04%, 86,76%, dan 86,73%, sedangkan pada *IRS* 48 jam 86,70%, 86,10%, 81,35%, 78,54%, dan 77,98. Pada perendaman 24 jam nilai *IRS* kadar peremaja 0% hingga 3% memenuhi standar Bina Marga Tahun 2010 yaitu minimum 90%, sedangkan pada perendaman 48 jam nilai *IRS* pada setiap variasi kadar peremaja tidak memenuhi syarat spesifikasi karena kurang dari 90%. Hasil tersebut menggambarkan pengaruh air dan lama rendaman dapat menurunkan kinerja durabilitas pada campuran perkerasan seiring penambahan oli bekas sebagai peremaja material *RAP*.

3. Penambahan variasi kadar peremaja oli bekas pada campuran *RAP*-aspal baru bergradasi *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 cenderung meningkatkan nilai *Indirect Tensile Strength (ITS)* baik *ITS uncondition* maupun *ITS condition* hingga kondisi optimum pada 2%-3% kemudian mengalami penurunan. Nilai optimum *ITS uncondition* maupun *ITS condition* masing-masing diperoleh nilai sebesar 17,198 Kg/cm² dan 16,3 Kg/cm². Pada pengujian ini juga diperoleh persentase nilai *Tensile Strength Ratio (TSR)* sebesar 91,91%, 94,78%, 92,54%, 91,78% dan 88,62% sehingga masih memenuhi syarat *Asphalt Institute* yaitu > 80%. Berdasarkan hasil dari nilai *ITS uncondition* dan *ITS condition* diperoleh pengaruh penambahan variasi kadar peremaja pada campuran dapat menurunkan daya lekatnya aspal terhadap agregat sehingga menurunkan kinerja kuat tarik pada campuran perkerasan.
4. Penambahan kadar peremaja oli bekas pada pada campuran *RAP*-aspal baru bergradasi *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 menurunkan nilai *Cantabro Loss* hingga kondisi optimum pada kadar 2% kemudian mengalami peningkatan. Pada pengujian ini nilai *Cantabro Loss* diperoleh sebesar 2,27%, 2,13%, 2,21%, 2,67%, dan 3,0% memenuhi standar Bina Marga Tahun 2010 yaitu ≤ 20%. Hasil tersebut menggambarkan kemampuan campuran perkerasan terhadap disintegrasi akibat benturan yang meningkat seiring bertambahnya kadar peremaja.
5. Berdasarkan grafik hubungan antara kadar peremaja oli bekas dengan karakteristik campuran *RAP*-aspal baru bergradasi *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 dapat disimpulkan bahwa penambahan oli bekas sebagai bahan peremaja pada *RAP* berpengaruh terhadap karakteristik campuran *RAP*-aspal baru *SMA* 0/11 dengan kadar peremaja yang disarankan adalah pada rentang 2% hingga 3% terhadap berat aspal pada material *RAP*.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh saran-saran sebagai berikut.

1. Pada Campuran *RAP*-aspal baru bergradasi *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 yang menggunakan oli bekas sebagai bahan peremaja material *RAP* disarankan menggunakan kadar peremaja sebesar 2%-3% untuk mengasilkan campuran yang stabil dan tidak getas, serta cukup baik menerima beban lalu lintas.
2. Pada penelitian ini sifat kimiawi pada kandungan oli bekas dan serat rami diabaikan, maka untuk penelitian selanjutnya diperlukan pengujian yang lebih mendalam terkait sifat kimiawi yang terkandung pada oli bekas dan serat rami.
3. Pada penelitian ini penggunaan material serat rami sebagai *mastic* atau serat pada campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 tidak menggunakan variasi, sehingga belum terlihat spesifik pengaruh *mastic* atau serat pada kinerja campuran, maka untuk penelitian selanjutnya dapat menambahkan variasi *mastic* atau serat yang digunakan pada campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 untuk mendapatkan komposisi campuran yang lebih mendalam.
4. Penelitian mengenai *Recycling Asphalt* perlu dilakukan lebih lanjut dengan menggunakan bahan peremaja dan jenis campuran lainnya agar menghasilkan campuran perkerasan yang baik terhadap penerapan di lapangan.
5. Pada penelitian selanjutnya agar melakukan pengujian karakteristik aspal pen 60/70 dan aspal *RAP* yang ditambahkan bahan peremaja untuk dilakukan perbandingan.

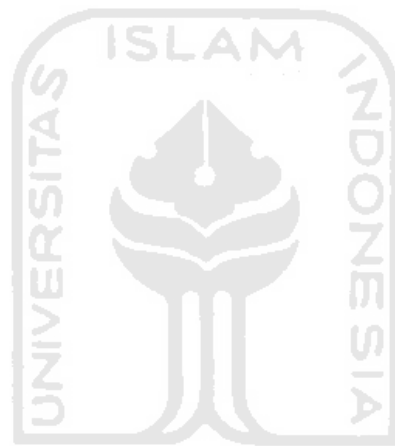
DAFTAR PUSTAKA

- Alfathli, M. 2019. Pengaryh Minyak Goreng Bekas Sebagai Bahan Peremaja *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* Terhadap Campuran Aspal Bergradasi *Split Mastic Ashalt (SMA) 0/11*. *Tugas Akhir* (Tidak Diterbitkan). Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Asphalt Institute*. 1993. *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types, Manual Series No. 6, Sixth Edition*. Lexington, USA.
- Direktorat Jendral Bina Marga. 1983. *Petunjuk Pelaksanaan Lapisan Aspal Beton*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Direktorat Jendral Bina Marga. 2010. *Spesifikasi Umum 2010 divisi 6*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Kasan, M. 2009. Karakteristik Stabilitas dan Stabilitas Sisa Campuran Beton Aspal Daur Ulang. *Majalah Ilmiah Mektek* Vol. XI No.2. Palu: Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako.
- Labillardieri, K. J. 2018. Pengaruh Penggunaan Selulosa Rami (*Boehmeira Nivea*) Pada Campuran Aspal Bergradasi Senjang (AASHTO M 325-08). *Tugas Akhir*. Samarinda: Politeknik Negeri Samarinda.
- Marbun, O. 2017. Penggunaan Serat Rami (*Boehmeria Nivea*) Untuk Meningkatkan Kadar Aspal Dalam Campuran Aspal Bergradasi Senjang. *Tugas Akhir*. Samarinda: Politeknik Negeri Samarinda.
- Mulyawan, A, S., Sana, W, B., Kaelani, Z. 2015. Identifikasi Sifat Fisik dan Sifat Termal Serat-Serat Selulosa Untuk Pembuatan Komposit. *Jurnal Teknik Sipil*. Bandung: Balai Besar Tekstil.
- Mustofa, H. 2016. Pengembangan Campuran Bergradasi Split Mastoc Asphalt Menggunakan bahan *RAP* dan Limbah Arang Batubara. *Tugas Akhir*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.

- Nono. 2016. Pengaruh Peremaja Terhadap Kinerja Campuran Beraspal Panas Bergradasi Menerus Menggunakan Daur Ulang Perkerasan Beraspal. Bandung: Pusat Litbang Jalan dan Jembatan.
- Prasetyo, A. 2012. Analisa Pengaruh Beban Berlebih (*Overload*) Kendaraan Terhadap Umur Rencana Jalan Dan Ketebalan Lapisan Perkerasan Dengan Metode Binamarga 2002. *Naskah Publikasi Ilmiah*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Pratiwi, W., Noviasuti, T, G., Djakfar, L., Bowoputro, H. 2015. Pengaruh Asbuton Terhadap Karakteristik Marshall Perkerasan Daur Ulang Dengan Peremaja Oli Bekas dan Solar. *Jurnal Teknik Sipil*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Putra, D. T. 2018. Pengaruh Lama Rendaman Air Sungai Terhadap Karakteristik Campuran AC-WC Dengan Bahan Ikat Starbit E-60 Dan PEN 60/70. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Qiu, Jian., Su., Jun-Feng., Schlangen, Erik 2013. *Stability Investigation of Self-healing Microcapsules Containing Rejuvenator for Bitumen. Polymer degradation and stability*, 98(6), 1205-1215.
- Sukirman, S. 1999. Perkerasan Lentur jalan raya Jilid 2. Bandung: Nova.
- Sukirman, S. 2003. Beton Aspal Campuran Panas. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- Sulistia, A. 2017. Pengembangan Campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* Menggunakan Bahan *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* Dengan Serat Selulosa Dedak Padi. *Tugas Akhir*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Sumantri, B., Santiko, H., Djakfar, L., Bowoputro, H. 2014. Pengaruh Peremaja Oli Bekas Dan Solar Terhadap Karakteristik *Marshall* Perkerasan Daur Ulang Dengan Asbuton. *Jurnal Teknik Sipil*. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Tahir, A. 2011. Kinerja Campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* yang Menggunakan Serat Selulosa Alami Dedak Padi. *Tugas Akhir*. Palu: Universitas Tadulako.

- Tajudin, A, N., Suparma, L, B. 2017. Pengaruh Rendaman pada *Indirect Tensile Strength* Campuran AC-BC dengan Limbah Plastik sebagai Agregat Pengganti. *Jurnal Teknik Sipil*. Media Komunikasi Teknik Sipil.
- Wikanta, M. 2010. Karakteristik *Marshall* pada Aspal Beton Campuran Hangat dengan Modifikasi Agregat – *RAP* Aspal – Residu Oli. *Tugas Akhir*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.





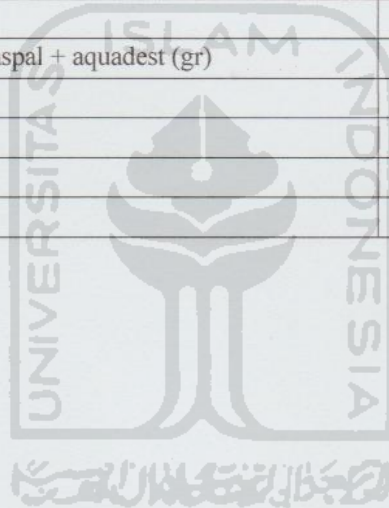
LAMPIRAN

Lampiran 1. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 17 Juni 2019

No	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat piknometer kosong (gr)	20,57	20,68
2	Berat piknometer + aquades (gr)	43,53	43,65
3	Berat aquadest (gr)	22,96	22,97
4	Berat piknometer + aspal (gr)	22,81	22,38
5	Berat aspal (gr)	2,24	1,7
6	Berat piknometer + aspal + aquadest (gr)	43,55	43,71
7	Berat aquadest (gr)	20,74	21,33
8	Volume aspal (gr)	2,22	1,64
9	Berat jenis aspal	1,009	1,037
10	Rata-rata BJ Aspal	1,023	



Mengetahui,
& Ka. Lab. Jalan Raya



(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020

Peneliti,



(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269

Lampiran 2. Pemeriksaan Kelarutan

PENERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4/TCE

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 19 Juni 2019


PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan	
			Waktu	Suhu (°C)
1	Penimbangan	Mulai	10.30	27
2	Pelarutan	Mulai	10.40	27
3	Penyaringan	Mulai	10.43	27
		Selesai	10.55	27
4	Di Oven	Mulai	10.55	110
5	Penimbangan	Selesai	11.16	27

HASIL PEMERIKSAAN


No	Pemeriksaan	Benda Uji	
		1	2
1	Berat erlen mayer kosong (gr)	68,87	73,49
2	Berat erlen mayer kosong + aspal (gr)	69,74	74,76
3	Berat aspal (gr)	0,87	1,27
4	berat kertas saring bersih (gr)	0,61	0,62
5	berar kertas saring bersih + mineral (gr)	0,62	0,63
6	Berat Mineral (gr)	0,01	0,01
7	Prosentase Mineral (%)	1,15	0,79
8	Aspal yang larut (%)	98,85	99,21
9	Rata-rata aspal yang larut (%)	99,03	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti,



(Rafi Fachil Nugroho)
15511269

Lampiran 3. Form Pemeriksaan Daktilitas

PEMERIKSAAN DAKTILITAS (*DUCTILITY*) / RESIDUE

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 17 Juni 2019

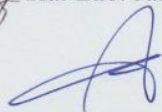
PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan Benda Uji	Aspal Dipanaskan	15 Menit	Suhu Pemanasan $\pm 135^{\circ}\text{C}$
2	Mendinginkan Benda Uji	Didiamkan Pada Suhu Ruang	60 Menit	Suhu Ruang $\pm 26^{\circ}\text{C}$
3	Perendaman Benda Uji	Direndam Dalam Waterbath Pada Suhu 25°C	60 Menit	Suhu Waterbath $\pm 25^{\circ}\text{C}$
4	Pemeriksaan	Diuji Daktilitas Pada Suhu 25°C , Kecepatan 5 Cm Per Menit	20 Menit	Suhu Alat $\pm 25^{\circ}\text{C}$

HASIL PEMERIKSAAN

No.	Benda Uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	164 cm	Tidak putus
2	Sampel 2	164 cm	Tidak putus

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti,



(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269

Lampiran 4. Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal

PEMERIKSAAN TITIK NYALA & BAKAR ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 18 Juni 2019

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	25° C	12.00
	Selesai	145° C	12.15
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	145° C	12.15
	Selesai	25° C	12.20
3	Diperiksa		
	Mulai	35° C	12.20
	Selesai	345° C	12.45

HASIL PENGAMATAN

No.	Benda Uji	Titik Nyala	Titik Bakar
1	Benda Uji 1	332° C	345° C

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya



(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020

Peneliti,



(Rafi Fadhil Nugroho)

15511269

Lampiran 5. Pemeriksaan Penetrasi Aspal


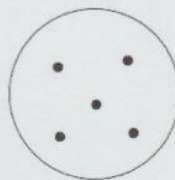
PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 17 Juni 2019


PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	25 °C	09.00
	Selesai	130 °C	09.30
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	130 °C	09.30
	Selesai	25 °C	11.00
3	Diperiksa		
	Mulai	25 °C	11.00
	Selesai	25 °C	12.30

HASIL PENGAMATAN

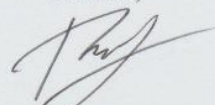
No.	Benda Uji		Sket Pengujian	
	1 (mm)	2 (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	62	62		
2	62	63		
3	64	62		
4	61	62		
5	62	63		
Rata2	62,2	62,4		
Rerata	62,3			

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya


(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020

Peneliti,


(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269

Lampiran 6. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 18 Juni 2019


PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	25 °C	12.10
	Selesai	50 °C	12.15
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	50 °C	12.15
	Selesai	25 °C	12.50
3	Diperiksa		
	Mulai	5 °C	12.50
	Selesai	50 °C	10.34

HASIL PENGAMATAN

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji 1	Benda uji 2	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	5 °C	333,15	333,15		
2	10 °C	292,51	292,51		
3	15 °C	182,13	182,13		
4	20 °C	170,41	170,41		
5	25 °C	113,90	113,90		
6	30 °C	148,57	148,57		
7	35 °C	146,27	146,27		
8	40 °C	149,45	149,45		
9	45 °C	134,26	134,26		
10	50 °C	125,65	125,65	48	48

Mengetahui,

 Ka. Lab. Jalan Raya



(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020

Peneliti,



(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269

Lampiran 7. Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Agregat ukuran (1/4") dan (3/8")
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 19 Juni 2019

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	25 °C	12.10
	Selesai	150 °C	12.15
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	150 °C	12.15
	Selesai	25 °C	12.50
3	Diperiksa		
	Mulai	25 °C	12.50
	Selesai	25 °C	10.34

HASIL PEMERIKSAAN

No.	Benda Uji	% Terselimuti Aspal	Keterangan
1	Benda Uji 1	97%	Memenuhi
2	Benda Uji 2	98%	Memenuhi
3	Rata-Rata	97,5%	Memenuhi

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti,



(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269

Lampiran 8. Pemeriksaan Berat Jenis Agregta Kasar

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tanggal Uji : 20 Juni 2019

No.	Keterangan	Benda Uji (gr)		
		1	2	Rata-rata
1	Berat Benda Uji Dalam Keadaan Basah Jenuh (BJ)	1600,04	1619,27	1609,66
2	Berat Benda Uji Dalam Air (BA)	1001,14	1002,46	1001,80
4	Berat Benda Uji Kering Oven (BK)	1574,46	1591,42	1582,94
5	Berat Jenis ($Bulk$) = $\frac{BK}{BJ-BA}$	2,629	2,580	2,605
6	Berat Jenis (SSD) = $\frac{BJ}{BJ-BA}$	2,672	2,625	2,648
7	Berat Jenis (Semu) = $\frac{BK}{BK-BA}$	2,746	2,702	2,724
8	Penyerapan Air = $\frac{BK}{BK-BA} \times 100\%$	1,625	1,750	1,687
9	Berat Cawan	128,09	257,18	
10	Berat Jenis Efektif = $(BJ\ Bulk + BJ\ Semu) / 2$	2,6875	2,6410	
11	Berat Jenis Efektif Rata-rata	2,6443		
12	Penyerapan Rata-rata	1,687		

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020

Peneliti,



(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269


Lampiran 9. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

Material : Agregat Halus
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tanggal Uji : 20 Juni 2019

No.	Keterangan	Benda Uji (gr)		
		1	2	Rata-rata
1	Berat Benda Uji Dalam Keadaan Basah Jenuh (BJ)	500	500	500
2	Berat <i>Piknometer</i> + Air (B)	690,4	658,71	674,555
3	Berat <i>Piknometer</i> + Air + Benda Uji (BT)	992,3	969,21	980,755
4	Berat Benda Uji Kering Oven (BK)	489,21	488,83	489,02
5	Berat Jenis (<i>Bulk</i>) = $\frac{BK}{(B+500)-BT}$	2,47	2,58	2,52
6	Berat Jenis (<i>SSD</i>) = $\frac{500}{(B+500)-BT}$	2,52	2,64	2,58
7	Berat Jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B+BK)-BT}$	2,61	2,74	2,68
8	Penyerapan Air = $\frac{(500-BK)}{BK} \times 100\%$	2,21	2,29	2,25
9	Berat Jenis Efektif = (BJ <i>Bulk</i> + BJ Semu) / 2	2,54	2,66	
10	Berat Jenis Efektif Rata-rata	2,6003		

Mengetahui,

 Ka. Lab. Jalan Raya



(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020

Peneliti,



(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269

Lampiran 10. Pemeriksaan Berat Jenis *Filler* Clereng


PEMERIKSAAN BERAT *FILLER* CLERENG

Material : *Filler* Clereng
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tanggal Uji : 20 Juni 2019

No	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat piknometer kosong (gr)	12,04	11,84
2	Berat piknometer + aquades (gr)	29,24	29,22
3	Berat aquadest (gr)	17,2	17,38
4	Berat piknometer + Debu Batu (gr)	13,09	13,24
5	Berat Debu Batu (gr)	1,05	1,4
6	Berat piknometer + Debu Batu + aquadest (gr)	29,88	30,07
7	Berat aquadest (gr)	16,79	16,83
8	Volume Debu Batu (gr)	0,41	0,55
9	Berat jenis Debu Batu	2,561	2,545
10	Rata-rata BJ Debu Batu	2,553	



Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya


(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti,

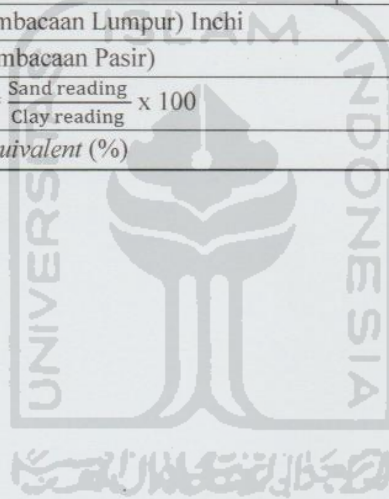

(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269

Lampiran 11. Pemeriksaan *Sand Equivalent*

PEMERIKSAAN *SAND EQUIVALENT*

Material : Agregat Halus
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tanggal Uji : 21 Juni 2019

No.	Keterangan	Benda Uji (gr)		
			1	2
1	Persiapan dan Perendaman Benda Uji Dalam Larutan CaCl ₂ selama (± 10 menit)	Mulai	12.22	12.22
		Selesai	12.32	12.32
2	Waktu Pengendapan (Benda Uji setelah di gojok sebanyak 90x, dan ditambah larutan CaCl ₂)	Mulai	12.32	12.32
		Selesai	12.35	12.35
3	<i>Clay Reading</i> (Pembacaan Lumpur) Inchi		3,9	3,6
4	<i>Sand Reading</i> (Pembacaan Pasir)		3,6	3,3
5	$Sand\ Equivalent = \frac{Sand\ reading}{Clay\ reading} \times 100$		92,3076	91,6667
6	Rata-rata <i>Sand Equivalent</i> (%)		91,9871	



Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti,

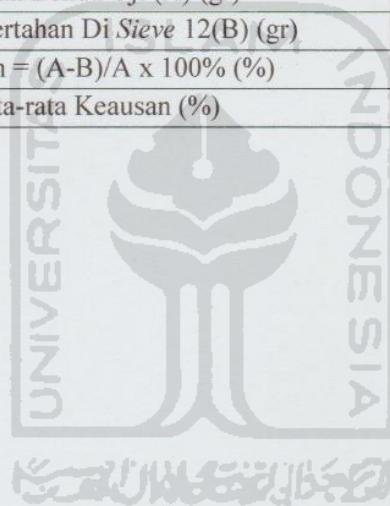
(Rafi Radhil Nugroho)
15511269

Lampiran 12. Pemeriksaan Keausan Agregat

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT (*ABRASI TEST*)

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tanggal Uji : 21 Juni 2019

No.	Jenis Gradasi		Seragam (<i>AC-WC</i>)	
	Saringan		Benda Uji	
	Lolos	Tertahan	1	2
1	12,5 mm 1/2 "	9,5 mm 3/8 "	2500	2500
2	9,5 mm 3/8 "	12,5 mm 1/4 "	2500	2500
3	Jumlah Benda Uji (A) (gr)		5000	5000
4	Jumlah Tertahan Di <i>Sieve</i> 12(B) (gr)		3953,43	3953,43
5	Keausan = $(A-B)/A \times 100\%$ (%)		20,93	20,93
6	Rata-rata Keausan (%)		20,61	



Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya




(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020

Peneliti,



(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269

Lampiran 13. Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pada Material RAP


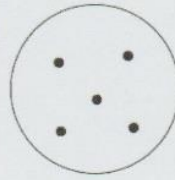
PEMERIKSAAN PENETRASI MATERIAL RAP

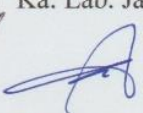
Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 5 September 2019

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	25° C	09.00
	Selesai	130° C	09.30
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	130° C	09.30
	Selesai	25° C	11.00
3	Diperiksa		
	Mulai	25° C	11.00
	Selesai	25° C	12.30

HASIL PENGAMATAN

No.	Benda Uji		Sket Pengujian	
	1 (mm)	2 (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	49	51		
2	55	55		
3	52	51		
4	48	50		
5	50	53		
Rata2	50,8	52		
Rerata	51,4			

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti,

(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269

Lampiran 14. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pada Material RAP

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK MATERIAL RAP

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 5 September 2019

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	25 °C	12.10
	Selesai	50 °C	12.15
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	50 °C	12.15
	Selesai	25 °C	12.50
3	Diperiksa		
	Mulai	5 °C	12.50
	Selesai	50 °C	13.34

HASIL PENGAMATAN

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji 1	Benda uji 2	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	5 °C	-	-		
2	10 °C	97	97		
3	15 °C	213	213		
4	20 °C	281	281		
5	25 °C	350	350		
6	30 °C	435	435		
7	35 °C	510	510		
8	40 °C	573	573		
9	45 °C	674	674		
10	50 °C	760	760	53	53

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya



(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020

Peneliti,



(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269



Lampiran 15. Hasil Pengujian *Marshall* Menentukan KAO Pada Kadar Peremaja 0%

PENGUJIAN MARSHALL DALAM MENENTUKAN KADAR ASPAL OPTIMUM PADA KADAR PEREMAJA 0%

Tanggal Pengujian : 19 September 2019
Tipe Campuran : *Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11*

Dikerjakan Oleh : Rafi Fadhil Nugroho
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

Sampel	Dimensi (cm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G Density	H	I	J	K	L VMA (%)	M VFA (%)	N VTM (%)	O Mean	P Koreksi	Q	R Stabilitas (kg)	S Flow (mm)	T MQ (kg/mm)
5.5A	66.71	5.82	5.5	1181.70	1199.67	671.31	528.36	2.237	2.424	12.024	80.2508	7.725	19.75	60.89	7.72	48	1024.10	0.920	952.08	2.40	396.70
5.5B	67.84	5.82	5.5	1180.25	1195.97	670.68	525.29	2.247	2.424	12.080	80.6268	7.290	19.38	62.35	7.30	53	1130.79	0.901	1019.31	2.50	407.72
5.5C	69.33	5.82	5.5	1182.86	1203.70	669.52	531.18	2.227	2.424	11.972	79.9031	8.125	20.10	59.57	8.12	49	1045.44	0.871	910.52	2.80	325.11
								2.237					19.74	60.93	7.72				960.57	2.57	376.51
6A	70.23	6.38	6	1177.35	1188.17	662.27	525.0	2.239	2.406	13.120	79.9044	6.965	20.10	65.34	6.97	48	1024.10	0.853	875.90	2.50	349.56
6B	67.30	6.38	6	1183.31	1194.10	666.60	527.5	2.243	2.406	13.157	80.0653	6.778	19.93	66.00	6.78	52	1109.45	0.915	1015.05	2.40	422.94
6C	65.45	6.38	6	1196.97	1203.57	674.91	528.66	2.264	2.406	13.289	80.8118	5.909	19.19	69.21	5.91	50	1066.78	0.953	1017.04	2.80	363.23
								2.249					19.740	66.849	6.554				968.663	2.567	378.575
6.5A	66.63	6.95	6.5	1174.91	1185.20	662.98	522.22	2.250	2.389	14.295	79.8735	5.831	20.13	71.05	5.87	47	917.43	0.931	854.41	2.70	316.45
6.5B	67.76	6.95	6.5	1183.42	1189.76	661.28	528.48	2.239	2.389	14.228	79.4991	6.273	20.30	69.40	6.27	48	1024.10	0.904	925.28	2.90	339.06
6.5C	67.20	6.95	6.5	1179.17	1187.48	662.13	525.55	2.245	2.389	14.261	79.6852	6.054	20.31	70.30	6.05	46	981.43	0.921	905.62	2.80	322.72
								2.245					20.314	70.210	6.052				894.438	2.800	319.411
7A	65.62	7.53	7	1166.63	1173.52	653.06	520.46	2.242	2.372	15.338	79.1533	5.509	20.85	73.58	5.51	44	938.76	0.950	892.12	3.60	247.81
7B	66.32	7.53	7	1173.29	1177.21	652.71	524.5	2.237	2.372	15.307	78.992	5.701	21.01	72.86	5.70	41	874.76	0.927	819.81	3.80	215.74
7C	66.10	7.53	7	1176.76	1185.47	662.56	522.91	2.250	2.372	15.399	79.4665	5.135	20.53	74.99	5.13	42	896.09	0.941	843.39	3.30	255.57
								2.243					20.796	73.810	5.448				851.772	3.567	239.708
7.5A	65.17	8.11	7.5	1175.96	1179.32	659.75	519.57	2.263	2.356	16.593	79.4933	3.913	20.51	80.92	3.91	40	853.42	0.959	818.22	3.70	221.14
7.5B	65.29	8.11	7.5	1163.15	1168.19	652.81	515.38	2.257	2.356	16.546	79.2666	4.187	20.73	79.80	4.19	38	810.75	0.956	775.43	3.90	198.83
7.5C	62.87	8.11	7.5	1164.65	1168.27	652.18	516.09	2.257	2.356	16.545	79.2596	4.196	20.74	79.77	4.20	41	874.76	1.016	888.61	3.60	246.83
								2.259					20.660	80.163	4.099				827.418	3.733	222.268

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti,

(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269

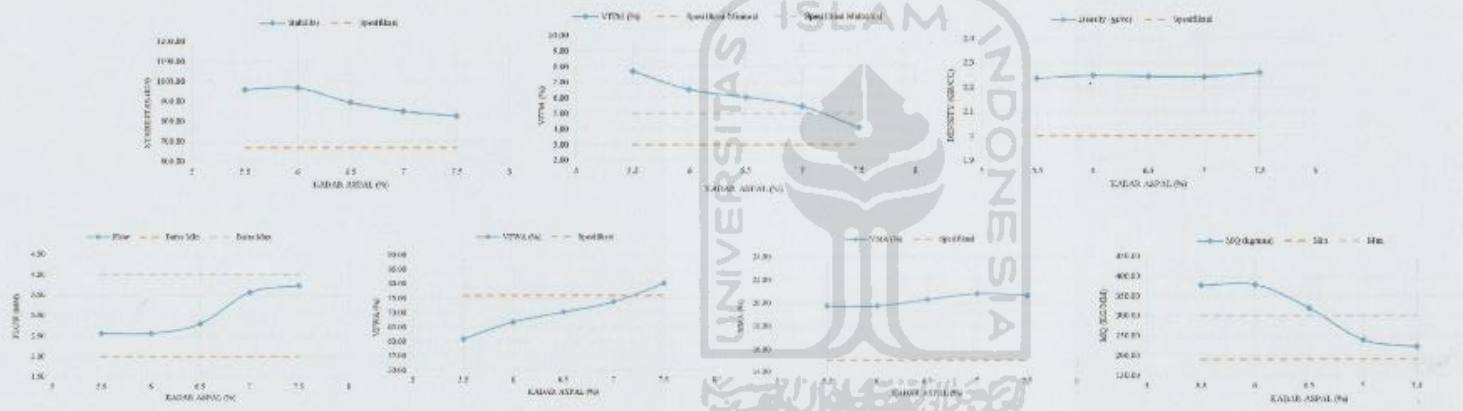


Lampiran 16. Grafik Pengujian *Marshall* Menentukan KAO Pada Kadar Peremaja 0%

PENGUJIAN *MARSHALL* DALAM MENENTUKAN KADAR ASPAL OPTIMUM PADA KADAR PEREMAJA 0%

Tanggal Pengujian : 19 September 2019
Tipe Campuran : *Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11*

Dikerjakan Oleh : Rafi Fadhil Nugroho
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.



Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti,

(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269



Lampiran 17. Hasil Pengujian Marshall Menentukan KAO Pada Kadar Peremaja 2%

PENGUJIAN MARSHALL DALAM MENENTUKAN KADAR ASPAL OPTIMUM PADA KADAR PEREMAJA 2%

Tanggal Pengujian : 27 September 2019
Tipe Campuran : Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11

Dikerjakan Oleh : Rafi Fadhil Nugroho
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

Sampel	Tinggi (cm)	A (cm)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G Density	H	I	J	K	L VMA (%)	M VFA (%)	N VTM (%)	O M _{grad}	P	Q Koreksi	R Stabilitas (kg)	S Flow (mm)	T MQ (Kg/mm)
5,5A	70.81	5.82	5.5	1178.62	1195.75	665.97	529.78	2.225	2.424	11.961	79.8271	8.312	20.17	59.29	8.21	51	1088.11	0.842	915.97	3.00	305.32
5,5B	68.07	5.82	5.5	1175.26	1188.25	661.09	527.16	2.229	2.424	11.986	79.9951	8.019	20.00	59.92	8.02	55	1173.45	0.896	1051.12	2.90	362.46
5,5C	67.48	5.82	5.5	1173.98	1190.67	662.32	528.35	2.223	2.424	11.946	79.728	8.326	20.27	58.93	8.33	52	1094.45	0.915	1015.56	2.70	376.13
								2.225					20.15	59.38	8.19				994.22	2.87	347.97
6A	67.61	6.38	6	1175.77	1190.81	666.75	524.06	2.244	2.406	13.159	80.0773	6.764	19.97	66.05	6.76	56	1194.79	0.907	1083.97	2.90	373.78
6B	66.24	6.38	6	1181.25	1193.20	667.30	525.9	2.246	2.406	13.174	80.1691	6.457	19.83	66.42	6.66	58	1237.46	0.939	1161.51	2.70	430.19
6C	66.12	6.38	6	1173.57	1186.54	663.77	522.77	2.245	2.406	13.167	80.1247	6.709	19.88	66.23	6.71	56	1194.79	0.941	1124.15	3.00	374.72
								2.245					19.876	66.242	6.710				1123.209	2.867	392.896
6,5A	67.81	6.95	6.5	1173.06	1181.64	658.76	522.885	2.243	2.389	14.254	79.646	6.100	20.35	70.03	6.10	47	1002.77	0.902	904.75	3.10	291.85
6,5B	68.16	6.95	6.5	1170.50	1177.94	655.06	522.88	2.239	2.389	14.224	79.4733	6.303	20.53	69.29	6.30	50	1066.78	0.893	953.07	3.30	288.81
6,5C	67.46	6.95	6.5	1175.61	1185.34	662.45	522.89	2.248	2.389	14.283	79.8187	5.896	20.18	70.79	5.90	51	1088.11	0.916	996.51	3.20	311.41
								2.243					20.354	70.037	6.100				951.443	3.200	297.358
7A	65.93	7.53	7	1173.66	1179.85	656.30	523.55	2.242	2.372	15.339	79.1603	5.500	20.84	73.61	5.50	43	917.43	0.944	866.45	3.30	282.56
7B	66.51	7.53	7	1168.33	1177.41	658.30	519.11	2.251	2.372	15.400	79.4748	5.125	20.53	75.03	5.12	40	853.42	0.954	796.77	3.40	234.35
7C	64.63	7.53	7	1185.56	1193.30	667.80	525.5	2.257	2.372	15.443	79.8931	4.864	20.31	76.05	4.86	35	746.74	0.972	725.65	3.70	196.12
								2.250					20.557	74.894	5.163				796.291	3.467	231.009
7,5A	65.91	8.11	7.5	1178.03	1183.50	659.14	524.36	2.247	2.356	16.471	78.9058	4.621	21.09	78.08	4.62	33	704.07	0.945	665.22	3.70	179.79
7,5B	64.33	8.11	7.5	1182.60	1187.16	650.27	516.89	2.249	2.356	16.490	78.9977	4.512	21.00	78.51	4.51	34	725.41	0.979	709.93	3.60	187.20
7,5C	66.06	8.11	7.5	1181.18	1167.59	650.27	517.32	2.245	2.356	16.456	78.8356	4.708	21.16	77.75	4.71	36	768.08	0.942	725.48	3.40	212.79
								2.247					21.087	78.117	4.615				699.543	3.567	196.893

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti,

(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269



LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

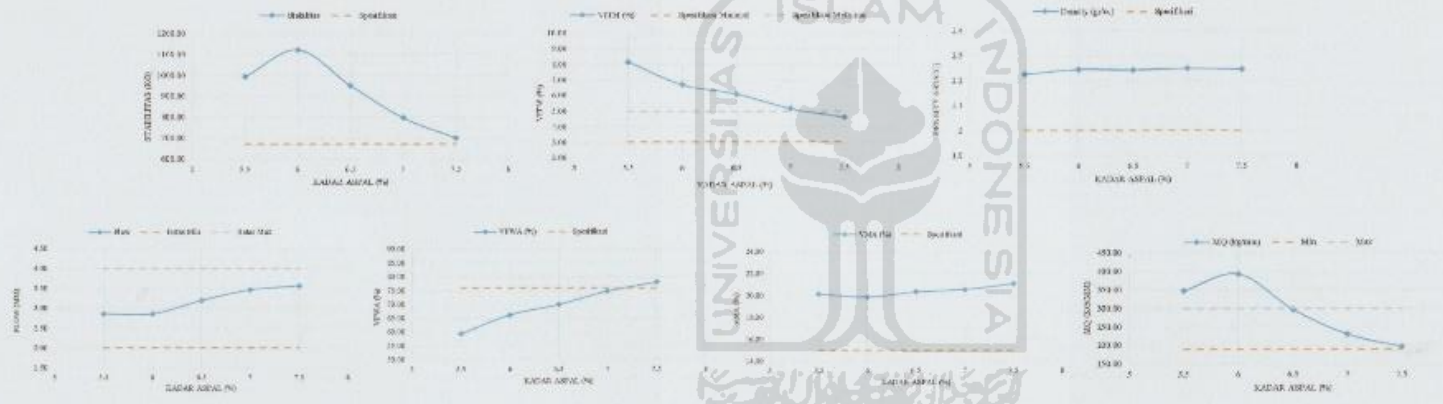
Gedung 01, 5th, Natar
Campus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km. 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 894444 ext. 3200, 3201
E. dekanat@uii.ac.id
W. iitp@uii.ac.id

Lampiran 18. Grafik Pengujian *Marshall* Menentukan KAO Pada Kadar Peremaja 2%

PENGUJIAN *MARSHALL* DALAM MENENTUKAN KADAR ASPAL OPTIMUM PADA KADAR PEREMAJA 2%

Tanggal Pengujian : 27 September 2019
Tipe Campuran : *Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11*

Dikerjakan Oleh : Rafi Fadhil Nugroho
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.



Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti,

(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269



Lampiran 19. Hasil Pengujian Marshall Menentukan KAO Pada Kadar Peremaja 3%

PENGUJIAN MARSHALL DALAM MENENTUKAN KADAR ASPAL OPTIMUM PADA KADAR PEREMAJA 3%

Tanggal Pengujian : 3 Oktober 2019
Tipe Campuran : Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11

Dikerjakan Oleh : Rafi Fadhil Nugroho
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

Sampel	Tinggi (cm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G Density	H	I	J	K	L VMA (%)	M VFWA (%)	N VITM (%)	O Meas	P	Q Koreksi	R Stabilitas (kg)	S Flow (mm)	T MQ (Kugram)
5.5A	65.13	5.82	5.5	1170.33	1196.74	661.58	529.16	2.212	2.424	11.891	79.3583	8.751	20.64	37.61	8.75	40	853.42	0.959	818.75	3.10	264.11
5.5B	68.53	5.82	5.5	1174.81	1196.63	664.45	532.18	2.208	2.424	11.869	79.2102	8.821	20.79	37.09	8.92	38	810.75	0.886	718.02	3.20	234.38
5.5C	66.73	5.82	5.5	1175.70	1195.70	662.52	533.18	2.205	2.424	11.855	79.1215	9.023	20.88	36.78	9.03	46	981.43	0.919	902.31	3.10	291.07
								2.208					20.77	37.16	8.90				813.02	3.13	259.85
6A	67.10	6.38	6	1178.87	1192.46	662.43	530.03	2.224	2.406	13.045	79.3841	7.571	20.62	63.28	7.57	48	1024.10	0.923	944.74	2.90	323.77
6B	67.43	6.38	6	1171.39	1184.34	656.46	527.88	2.219	2.406	13.015	79.2617	7.783	20.80	62.58	7.78	45	960.10	0.916	879.69	3.30	266.57
6C	69.10	6.38	6	1179.89	1193.66	662.52	531.14	2.221	2.406	13.029	79.2868	7.684	20.71	62.90	7.68	44	938.76	0.875	821.42	3.60	228.17
								2.222					20.709	62.918	7.650				881.947	3.267	273.806
6.5A	67.23	6.95	6.5	1177.62	1189.51	661.85	527.66	2.232	2.389	14.180	79.2324	6.582	20.77	68.28	6.59	47	1002.77	0.917	919.20	3.40	270.35
6.5B	65.51	6.95	6.5	1174.58	1186.68	658.13	528.55	2.222	2.389	14.120	78.8948	6.985	21.11	66.90	6.99	44	938.76	0.952	893.94	3.20	279.36
6.5C	68.89	6.95	6.5	1180.76	1190.27	659.03	531.24	2.233	2.389	14.122	78.9083	6.969	21.09	66.96	6.97	50	1066.78	0.886	945.63	3.50	270.18
								2.226					20.988	67.361	6.847				919.890	3.367	273.296
7A	65.50	7.53	7	1165.72	1175.25	656.84	518.41	2.249	2.372	15.387	79.4043	5.205	20.60	74.71	5.21	50	1065.78	0.953	1016.10	3.60	282.25
7B	65.40	7.53	7	1170.69	1182.24	660.81	521.43	2.245	2.372	15.363	79.281	5.356	20.72	74.15	5.36	48	1024.10	0.954	977.38	3.40	287.46
7C	67.67	7.53	7	1176.10	1180.65	657.77	522.88	2.249	2.372	15.391	79.4265	5.183	20.57	74.81	5.18	45	960.10	0.912	875.37	3.60	243.16
								2.248					20.629	74.555	5.249				966.264	3.533	270.958
7.5A	63.40	8.11	7.5	1162.57	1170.32	652.58	517.74	2.245	2.356	16.462	78.8659	4.672	21.13	77.90	4.67	47	1002.77	1.002	1005.19	3.40	295.64
7.5B	66.52	8.11	7.5	1167.22	1172.92	652.39	520.53	2.242	2.356	16.440	78.757	4.803	21.24	77.39	4.80	45	960.10	0.933	896.07	3.80	235.81
7.5C	66.18	8.11	7.5	1153.29	1161.41	647.49	513.92	2.244	2.356	16.452	78.8179	4.736	21.18	77.67	4.73	37	789.41	0.940	741.80	3.90	190.21
								2.244					21.196	77.652	4.745				881.022	3.700	240.553

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti,

(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269



Lampiran 20. Grafik Pengujian Marshall Menentukan KAO Pada Kadar Peremaja 3%

PENGUJIAN MARSHALL DALAM MENENTUKAN KADAR ASPAL OPTIMUM PADA KADAR PEREMAJA 3%

Tanggal Pengujian : 3 Oktober 2019
Tipe Campuran : Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11

Dikerjakan Oleh : Rafi Fadhil Nugroho
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.



Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti,

(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269



Lampiran 21. Hasil Pengujian Marshall Menentukan KAO Pada Kadar Peremaja 4%

PENGUJIAN MARSHALL DALAM MENENTUKAN KADAR ASPAL OPTIMUM PADA KADAR PEREMAJA 4%

Tanggal Pengujian : 10 Oktober 2019
Tipe Campuran : Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11

Dikerjakan Oleh : Rafi Fadhil Nugroho
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

Sampel	Tinggi (cm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G Density	H	I	J	K	L			M	N	O	P	Q	R	S	T
													VMA (%)	VPWA (%)	VITM (%)								
5.5A	66.79	5.82	5.5	1171.95	1195.08	659.81	535.27	2.189	2.424	11.721	78.5612	9.668	21.44	54.91	9.67	45	960.10	0.928	890.81	3.30	269.94		
5.5B	66.22	5.82	5.5	1175.05	1192.68	657.66	535.02	2.196	2.424	11.808	78.8058	9.386	21.19	55.71	9.39	48	1024.10	0.930	961.63	3.30	291.60		
5.5C	66.50	5.82	5.5	1173.50	1193.88	658.74	535.145	2.193	2.424	11.790	78.6835	9.527	21.32	55.31	9.53	49	1045.44	0.934	976.11	3.50	278.89		
								2.193					21.32	55.31	9.53				942.85	3.37	280.08		
6A	69.72	6.38	6	1181.58	1199.27	663.38	535.89	2.205	2.406	12.932	78.6965	8.572	21.30	60.70	8.37	48	1024.10	0.863	884.25	3.50	252.64		
6B	70.64	6.38	6	1182.65	1198.98	660.59	538.39	2.197	2.406	12.884	78.402	8.714	21.60	59.65	8.71	54	1152.12	0.845	973.77	3.30	295.08		
6C	70.55	6.38	6	1175.49	1194.55	658.30	536.25	2.192	2.406	12.857	78.2384	8.905	21.76	59.08	8.91	58	1237.46	0.847	1048.13	3.20	327.54		
								2.198					21.854	59.811	8.654				968.716	3.333	291.755		
6.5A	67.57	6.95	6.5	1176.05	1186.68	662.09	524.59	2.242	2.389	14.244	79.5898	6.166	20.41	69.79	6.17	46	981.43	0.908	891.39	3.20	278.56		
6.5B	66.33	6.95	6.5	1172.38	1184.06	661.34	522.72	2.243	2.389	14.251	79.6253	6.124	20.57	69.94	6.12	53	1176.78	0.939	1061.99	3.40	312.35		
6.5C	68.25	6.95	6.5	1172.98	1184.72	657.29	527.43	2.224	2.389	14.131	78.9546	6.915	21.05	67.14	6.91	51	1083.11	0.891	969.78	3.50	277.08		
								2.236					20.610	68.959	6.401				974.386	3.367	289.330		
7A	67.72	7.53	7	1167.38	1176.58	657.55	519.03	2.249	2.372	15.390	79.4224	5.187	20.58	74.79	5.19	45	960.10	0.904	868.33	3.70	234.68		
7B	67.04	7.53	7	1155.88	1171.68	658.38	513.3	2.252	2.372	15.409	79.5179	5.074	20.48	75.25	5.07	42	896.09	0.924	827.71	3.50	236.49		
7C	68.46	7.53	7	1161.69	1169.81	651.65	518.16	2.242	2.372	15.341	79.168	5.491	20.83	73.64	5.49	42	896.09	0.886	793.94	3.30	240.59		
								2.248					20.631	74.554	5.251				829.991	3.500	237.283		
7.5A	63.84	8.11	7.5	1167.83	1172.05	651.64	520.41	2.244	2.356	16.452	78.8163	4.732	21.18	77.86	4.73	37	789.41	0.992	782.77	4.10	190.92		
7.5B	67.24	8.11	7.5	1177.41	1182.41	656.86	525.55	2.240	2.356	16.425	78.6857	4.890	21.31	77.06	4.89	42	896.09	0.920	824.29	3.70	222.78		
7.5C	67.55	8.11	7.5	1171.87	1175.20	653.40	521.8	2.246	2.356	16.465	78.8783	4.637	21.12	77.95	4.66	35	746.74	0.904	675.15	3.90	173.12		
								2.243					21.207	77.589	4.359				766.737	3.900	195.605		

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti,

(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269

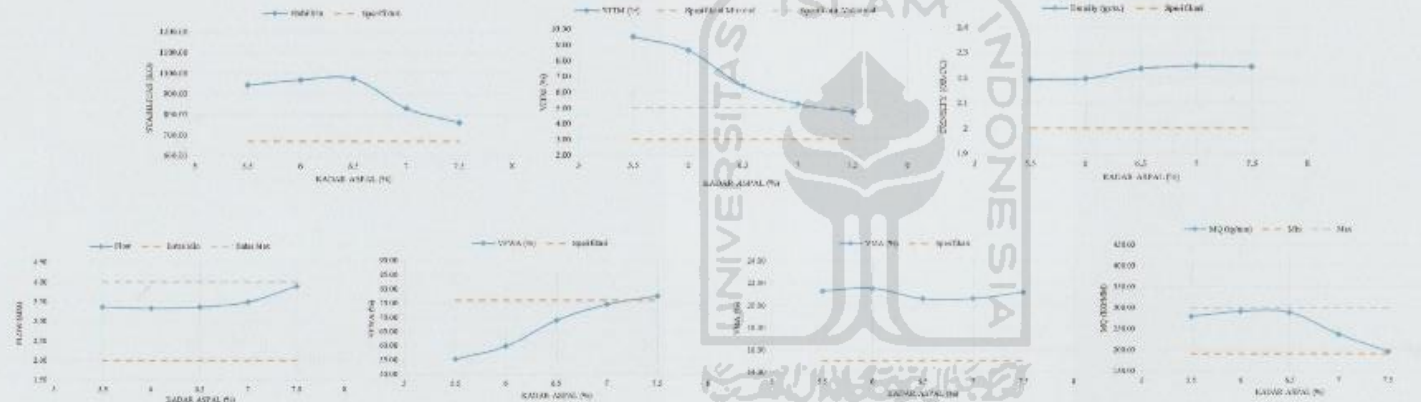


Lampiran 22. Grafik Pengujian Marshall Menentukan KAO Pada Kadar Peremaja 4%

PENGUJIAN MARSHALL DALAM MENENTUKAN KADAR ASPAL OPTIMUM PADA KADAR PEREMAJA 4%

Tanggal Pengujian : 10 Oktober 2019
Tipe Campuran : Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11

Dikerjakan Oleh : Rafi Fadhil Nugroho
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.



Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti,

(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269



LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung Dk. Mak. Hotel
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km. 14,5 Yogyakarta 55584
T. 0274 896144 ext 3203, 3201
F. 0274 895330
E. dekuat@uii.ac.id
W. www.uii.id

Lampiran 23. Hasil Pengujian Marshall Menentukan KAO Pada Kadar Peremaja 5%

PENGUJIAN MARSHALL DALAM MENENTUKAN KADAR ASPAL OPTIMUM PADA KADAR PEREMAJA 5%

Tanggal Pengujian : 18 Oktober 2019
Tipe Campuran : Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11

Dikerjakan Oleh : Rafi Fadhil Nugroho
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

Sampel	Tinggi (cm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G Density	H	I	J	K	L VMA (%)	M VFA (%)	N VTM (%)	O Meas	P	Q Koreksi	R Stabilitas (kg)	S Flow (mm)	T MQ (K/gmm)
5.5A	72.25	5.82	5.5	1178.23	1199.98	662.71	537.27	2.195	2.424	11.790	78.6882	9.522	21.31	55.52	9.52	39	832.08	0.819	681.75	3.40	206.32
5.5B	70.38	5.82	5.5	1178.13	1199.08	661.09	537.995	2.190	2.424	11.773	78.5755	9.651	21.42	54.95	9.65	41	874.76	0.851	743.98	3.40	218.82
5.5C	68.50	5.82	5.5	1178.03	1198.18	659.46	538.72	2.187	2.424	11.757	78.4631	9.780	21.54	54.59	9.78	44	938.76	0.886	832.04	3.30	252.13
								2.190					21.42	54.95	9.65			762.89	3.37	223.82	
6A	66.26	6.38	6	1179.22	1199.78	669.21	530.57	2.223	2.406	13.036	79.3269	7.638	20.67	63.06	7.64	48	981.43	0.938	920.77	3.30	279.02
6B	65.68	6.38	6	1176.72	1198.32	666.51	531.81	2.213	2.406	12.978	78.9741	8.045	21.07	61.72	8.05	49	1045.44	0.949	992.19	3.20	310.06
6C	70.72	6.38	6	1174.36	1195.00	659.54	535.46	2.193	2.406	12.861	78.2651	8.874	21.73	59.17	8.87	44	938.76	0.844	792.00	3.40	232.94
								2.209					21.145	61.346	8.187			901.653	3.300	274.007	
6.5A	68.20	6.95	6.5	1173.44	1193.41	666.28	527.135	2.230	2.389	14.168	79.1645	6.667	20.84	68.00	6.67	44	938.76	0.893	837.85	3.40	246.43
6.5B	70.00	6.95	6.5	1174.56	1190.10	660.57	529.53	2.218	2.389	14.094	78.7475	7.359	21.25	66.31	7.16	46	981.43	0.858	842.00	3.40	247.65
6.5C	65.48	6.95	6.5	1181.24	1191.74	663.23	528.51	2.235	2.389	14.201	79.3482	6.451	20.65	68.76	6.45	45	960.10	0.955	914.85	3.50	261.39
								2.228					20.913	67.693	6.799			864.901	3.433	251.820	
7A	66.38	7.53	7	1181.24	1186.63	659.92	526.71	2.243	2.372	15.346	79.1935	5.461	20.81	75.75	5.46	45	960.10	0.936	898.71	3.60	249.64
7B	67.35	7.53	7	1179.74	1186.03	660.20	525.825	2.244	2.372	15.352	79.2258	5.422	20.77	73.90	5.42	41	874.76	0.918	802.86	3.40	236.14
7C	68.32	7.53	7	1178.23	1185.42	660.48	524.94	2.245	2.372	15.358	79.2581	5.384	20.74	74.04	5.38	41	874.76	0.890	778.15	3.70	210.31
								2.244					20.774	73.901	5.422			826.574	3.567	232.630	
7.5A	63.40	8.11	7.5	1162.57	1170.32	652.58	517.74	2.245	2.356	16.462	78.8659	4.672	21.13	77.90	4.67	41	874.76	1.022	894.27	3.60	248.41
7.5B	66.32	8.11	7.5	1167.22	1172.92	652.39	520.53	2.242	2.356	16.440	78.757	4.805	21.24	77.39	4.80	32	682.74	0.955	637.21	4.00	159.30
7.5C	66.18	8.11	7.5	1153.29	1163.41	652.49	510.92	2.252	2.356	16.549	79.2807	4.170	20.72	79.87	4.17	38	810.75	0.940	761.85	3.80	200.49
								2.248					21.042	78.385	4.548			764.444	3.800	202.733	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti,

(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269

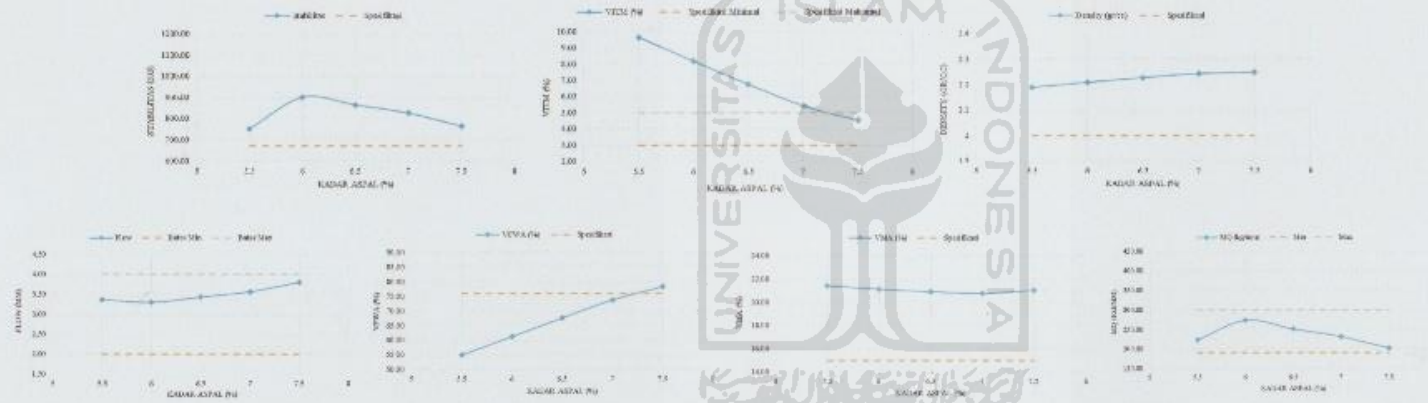


Lampiran 24. Grafik Pengujian Marshall Menentukan KAO Pada Kadar Peremaja 5%

PENGUJIAN MARSHALL DALAM MENENTUKAN KADAR ASPAL OPTIMUM PADA KADAR PEREMAJA 5%

Tanggal Pengujian : 18 Oktober 2019
Tipe Campuran : Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11

Dikerjakan Oleh : Rafi Fadhil Nugroho
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.



Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti,

(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269



Lampiran 25. Hasil terhadap Pengujian Marshall 0,5 Jam dengan KAO

PENGUJIAN MARSHALL DARI HASIL KAO

Tanggal Pengujian : 8 November 2019
Tipe Campuran : Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11

Dikerjakan Oleh : Rafi Fadhil Nugroho
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D

Sample	Tempo (cm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G Density	H	I	J	K	L VMA (%)	M VFA (%)	N VTM (%)	O Mass	P Korok	Q Stabilitas (kg)	R Flow (mm)	S MQ (kg/mm)	T
0-A	69.06	7.92	7.34	1176.48	1185.92	659.43	524.49	2.243	2.361	16.094	78.9175	4.988	21.08	76.34	4.99	64	938.77	0.89	824.37	3.60	228.99
0-B	68.61	7.92	7.34	1173.36	1180.73	658.47	522.26	2.247	2.361	16.120	79.0443	4.836	20.96	76.92	4.84	73	1051.66	0.89	949.39	3.80	249.84
0-C	68.10	7.92	7.34	1176.68	1178.62	655.4	523.22	2.249	2.361	16.136	79.1225	4.742	20.88	77.29	4.74	68	988.94	0.90	893.82	3.50	255.38
								2.246					20.92	76.85	4.86			889.19	3.63	244.74	
2-A	66.91	7.92	7.34	1168.37	1173.25	655.54	519.71	2.248	2.361	16.130	79.0943	4.775	20.91	77.16	4.78	79	1148.92	0.91	1051.07	3.30	318.51
2-B	65.28	7.92	7.34	1166.96	1172.33	652.93	519.40	2.247	2.361	16.120	79.046	4.834	20.95	76.92	4.83	71	1032.57	0.96	986.71	3.70	266.68
2-C	68.58	7.92	7.34	1178.64	1185.11	660.98	524.13	2.249	2.361	16.135	79.1167	4.749	20.88	77.25	4.75	69	1003.48	0.87	876.13	3.80	230.56
								2.248					20.91	77.12	4.79			971.30	3.60	271.91	
3-A	69.11	7.96	7.37	1175.84	1179.95	656.46	523.49	2.246	2.360	16.182	78.9997	4.818	21.20	77.06	4.82	70	1018.03	0.86	875.16	3.80	230.31
3-B	65.92	7.96	7.37	1170.29	1177.96	658.09	519.87	2.251	2.360	16.218	79.1743	4.638	20.83	77.87	4.61	79	1148.92	0.94	1079.41	3.30	327.09
3-C	69.08	7.96	7.37	1180.10	1185.23	660.05	525.18	2.247	2.360	16.188	79.0307	4.781	20.97	77.20	4.78	74	1076.20	0.89	952.91	4.10	232.42
								2.248					20.93	77.38	4.74			969.16	3.73	263.27	
4-A	68.37	7.97	7.38	1175.56	1182.86	660.28	522.58	2.250	2.360	16.234	79.1368	4.629	20.86	77.81	4.63	73	1061.66	0.88	932.40	3.50	266.40
4-B	68.92	7.97	7.38	1174.94	1178.87	655.71	523.16	2.246	2.360	16.202	78.9805	4.818	21.02	77.08	4.82	68	988.94	0.86	855.02	3.70	231.09
4-C	66.50	7.97	7.38	1177	1179.76	656.54	523.22	2.250	2.360	16.228	79.1099	4.662	20.89	77.68	4.66	62	901.68	0.93	834.13	4.20	198.60
								2.249					20.92	77.51	4.70			873.85	3.80	232.03	
5-A	66.91	7.96	7.37	1169.72	1172.77	652.97	519.80	2.250	2.360	16.212	79.1464	4.642	20.85	77.94	4.64	60	872.60	0.91	798.28	4.40	181.43
5-B	68.78	7.96	7.37	1177.22	1180.76	657.39	523.37	2.249	2.360	16.205	79.1105	4.685	20.89	77.57	4.68	64	930.77	0.87	807.91	3.50	230.83
5-C	68.04	7.96	7.37	1170.97	1174.89	654.56	520.33	2.250	2.360	16.213	79.1502	4.637	20.85	77.76	4.64	69	1003.48	0.89	889.67	3.70	240.45
								2.250					20.86	77.60	4.66			834.95	3.87	217.57	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

(Ir. Subarkah, M.T.)

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti,

(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269

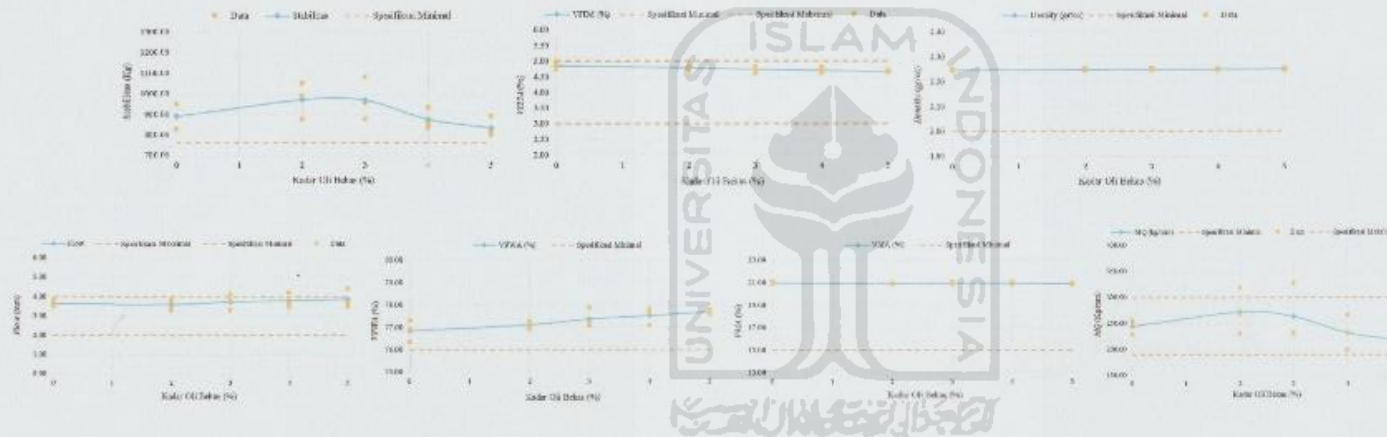


Lampiran 26. Grafik Pengujian Marshall 0,5 Jam dengan KAO

PENGUJIAN MARSHALL DARI HASIL KAO

Tanggal Pengujian : 8 November 2019
Tipe Campuran : Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11

Dikerjakan Oleh : Rafi Fadhil Nugroho
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.



Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti,

(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269



Lampiran 27. Hasil Terhadap Pengujian IRS 24 Jam dengan KAO

PENGUJIAN MARSHALL JAM DARI HASIL KAO

Tanggal Pengujian : 15 November 2019
Tipe Campuran : Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11

Dikerjakan Oleh : Rafi Fadhil Nugroho
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D

Sampel	Tinggi (cm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G Density	H	I	J	K	L	M VMA (%)	N VWMA (%)	O VTM (%)	Mean	P	Q Koreksi	R Stabilitas (kg)	S Flow (mm)	T MQ (kg/mm)
0-1	63.67	7.92	7.34	1178.49	1187.16	662.47	524.69	2.246	2.861	16.115	79.0222	4.862	20.98	76.82	4.86	62	991.68	0.95	856.03	4.30	199.08	
0-2	65.84	7.92	7.34	1178.05	1183.88	658.98	524.8	2.244	2.861	16.103	78.9611	4.906	21.04	76.53	4.94	69	872.60	0.95	825.53	4.70	175.64	
0-3	63.76	7.92	7.34	1178.27	1185.52	660.725	524.795	2.245	2.861	16.109	78.9916	4.899	21.01	76.68	4.90	61	887.14	0.95	840.76	4.50	186.84	
								2.245						21.01	76.68	4.90			840.77	4.50	187.19	
2-1	67.60	7.92	7.34	1181.85	1187.2	660.7	526.5	2.245	2.861	16.106	78.9751	4.919	21.02	76.70	4.92	65	945.31	0.91	863.19	4.30	200.74	
2-2	67.05	7.92	7.34	1177.28	1184.49	660.74	523.75	2.248	2.861	16.128	79.0827	4.789	20.92	77.10	4.79	70	1018.05	0.92	940.02	4.80	195.84	
2-3	67.33	7.92	7.34	1179.565	1185.85	660.72	525.125	2.246	2.861	16.117	79.0288	4.854	20.97	76.85	4.85	68	981.67	0.92	901.42	4.55	198.11	
								2.246						20.97	76.85	4.85			901.54	4.55	198.23	
3-1	68.49	7.92	7.37	1179.06	1185.34	660.54	524.8	2.247	2.860	16.186	79.0183	4.796	20.98	77.14	4.80	66	959.85	0.89	890.85	5.80	157.57	
3-2	68.91	7.92	7.37	1177.75	1181.72	657.21	524.51	2.245	2.860	16.177	78.9741	4.849	21.03	76.94	4.85	70	1018.05	0.88	894.34	6.10	146.61	
3-3	68.70	7.92	7.37	1178.405	1183.53	658.875	524.655	2.246	2.860	16.181	78.9962	4.823	21.00	77.04	4.82	68	988.94	0.88	872.71	5.75	151.78	
								2.246						21.00	77.04	4.82			872.63	5.75	151.98	
4-1	68.33	7.97	7.38	1175.89	1181.65	658.29	523.36	2.247	2.860	16.209	79.0141	4.777	20.99	77.24	4.78	57	828.97	0.89	734.20	6.10	120.36	
4-2	68.75	7.97	7.38	1173.84	1179.31	656.94	522.37	2.247	2.860	16.211	79.0258	4.763	20.97	77.29	4.76	61	887.14	0.88	782.07	7.10	110.15	
4-3	68.64	7.97	7.38	1174.865	1180.48	657.615	522.865	2.247	2.860	16.210	79.02	4.770	20.98	77.26	4.77	59	858.05	0.88	758.20	6.60	114.88	
								2.247						20.98	77.26	4.77			758.16	6.60	115.13	
5-1	67.00	7.92	7.34	1179.5	1185.95	662.48	523.47	2.253	2.861	16.167	79.2742	4.559	20.73	78.00	4.56	51	741.71	0.92	684.22	6.20	110.36	
5-2	67.28	7.92	7.34	1173.01	1178.83	657.22	521.61	2.249	2.861	16.135	79.1192	4.746	20.88	77.27	4.75	57	828.97	0.92	758.85	5.20	145.93	
5-3	67.14	7.92	7.34	1176.255	1182.39	659.85	522.54	2.251	2.861	16.134	79.1963	4.687	20.80	77.54	4.65	54	785.34	0.92	721.69	5.70	126.61	
								2.251						20.80	77.54	4.65			721.89	5.70	127.63	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti,

(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269



Lampiran 108. Hasil Terhadap Pengujian IRS 48 Jam dengan KAO

PENGUJIAN MARSHALL DARI HASIL KAO

Tanggal Pengujian : 25 Desember 2019
Tipe Campuran : Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11

Dikerjakan Oleh : Rafi Fadhil Nugroho
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D

Sampel	Tinggi (cm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G (Densitas)	H	I	J	K	L ₁₀ (VMA (%))	M (VFA (%)	N (VIM (%))	O (Menit)	P (Koreksi)	Q (Stabilitas (kg))	R (Flow (mm))	S (MQ (Kg/mm))	T
0-1	68.09	7.92	7.34	1177.09	1179.56	655.32	524.24	2.245	2.261	16.110	78.9961	4.894	21.00	76.70	4.89	56	814.42	0.90	729.11	4.10	177.83
0-2	65.04	7.92	7.34	1148.15	1150.04	639.9	511.14	2.246	2.261	16.117	79.0287	4.855	20.97	76.85	4.85	58	843.51	0.96	810.72	5.20	155.91
0-3	66.57	7.92	7.34	1162.62	1164.8	647.11	517.69	2.246	2.261	16.113	79.0122	4.874	20.99	76.78	4.87	57	828.97	0.93	773.04	4.65	166.24
								2.246	2.261	16.113	79.0122	4.874	20.99	76.78	4.87				770.96	4.65	166.66
3-1	67.25	7.92	7.34	1172.31	1174.16	652.58	521.58	2.248	2.261	16.127	79.0765	4.797	20.92	76.07	4.89	61	887.14	0.92	812.77	4.10	198.24
3-2	61.93	7.92	7.34	1122.19	1122.09	623.36	499.73	2.246	2.261	16.112	79.0054	4.882	20.99	76.74	4.88	57	828.97	1.04	861.57	4.40	195.81
3-3	64.59	7.92	7.34	1147.25	1148.13	637.47	510.655	2.247	2.261	16.119	79.0437	4.839	20.96	76.91	4.84	59	858.05	0.97	854.67	4.75	196.39
								2.247	2.261	16.119	79.0437	4.839	20.96	76.91	4.84				836.34	4.25	196.81
3-1	68.20	7.96	7.37	1175.26	1173.41	651.73	521.68	2.249	2.260	16.202	79.9998	4.698	20.90	77.52	4.70	57	828.97	0.89	759.85	4.30	172.06
3-2	67.35	7.96	7.37	1174.74	1177.32	654.11	523.21	2.245	2.260	16.175	78.968	4.852	21.03	76.91	4.86	63	916.23	0.91	837.20	5.80	144.34
3-3	67.78	7.96	7.37	1174	1175.37	652.92	522.445	2.247	2.260	16.189	79.0338	4.777	20.97	77.21	4.78	60	872.60	0.90	788.96	5.05	156.05
								2.247	2.260	16.189	79.0338	4.777	20.97	77.22	4.78				788.37	5.06	157.49
4-1	67.51	7.97	7.38	1172.36	1176.53	655.07	521.46	2.248	2.260	16.219	79.0639	4.717	20.94	77.47	4.72	51	741.71	0.91	678.41	6.30	107.68
4-2	68.53	7.97	7.38	1170.31	1171.13	652.31	520.82	2.247	2.260	16.210	79.0227	4.767	20.98	77.28	4.77	54	785.34	0.89	695.56	6.10	114.03
4-3	67.92	7.97	7.38	1171.335	1174.83	653.69	521.14	2.248	2.260	16.215	79.0433	4.742	20.96	77.37	4.74	53	763.52	0.90	684.95	6.20	110.48
								2.248	2.260	16.215	79.0433	4.742	20.96	77.37	4.74				686.31	6.20	110.73
5-1	65.97	7.92	7.34	1180.05	1181.02	656.62	524.4	2.250	2.261	16.146	79.1706	4.684	20.83	77.81	4.68	51	741.71	0.94	699.89	7.60	92.09
5-2	67.56	7.92	7.34	1170.72	1172.17	651.97	520.2	2.251	2.261	16.147	79.1788	4.674	20.82	77.55	4.67	45	654.45	0.91	598.12	5.20	115.02
5-3	66.77	7.92	7.34	1175.385	1176.6	654.295	522.3	2.250	2.261	16.147	79.1746	4.679	20.83	77.33	4.68	48	698.08	0.92	648.36	6.40	101.31
								2.250	2.261	16.147	79.1746	4.679	20.83	77.33	4.68				648.79	6.40	102.81

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti,

(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269



Lampiran 29. Pengujian *Indirect Tensile Strength* dari Hasil KAO

PENGUJIAN *INDIRECT TENSILE STRENGTH* DARI HASIL KAO

Tanggal Pengujian : 28 November 2019
Tipe Campuran : *Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11*

Dikerjakan Oleh : Rafi Fadhil Nugroho
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D

Kadar Oli Bekas (%)	KAO (%)	Sampel	Diameter (cm)	Tebal (mm)			Tebal Rata-rata			Stabilitas			A ₀	ITS (kg/cm ²)
				t1	t2	t3	mm	cm	Angka Koreksi	Arlaji Stab.	Stab. * Kalibrasi	Stabilitas (kg)		
0	7.34	1	10	69.92	69.41	69.17	69.500	6.950	0.868	41	815.293	707.267	0.159	16.132
		2	10	70.84	71.02	71.2	71.020	7.102	0.838	41	815.293	682.890	0.159	15.242
		3	10	67.28	67.76	67.92	67.653	6.765	0.906	44	874.949	792.849	0.159	18.577
												727.669		16.651
2	7.34	1	10	67.16	67.66	67.65	67.490	6.749	0.910	43	855.064	778.322	0.159	18.281
		2	10	68.71	68.43	68.03	68.390	6.839	0.888	39	775.523	688.907	0.159	15.968
		3	10	67.56	67.75	67.51	67.607	6.761	0.907	41	815.293	739.743	0.159	17.345
												735.657		17.198
3	7.37	1	10	69.27	68.97	69.17	69.137	6.914	0.874	39	775.523	678.049	0.159	15.547
		2	10	68.68	68.22	67.83	68.243	6.824	0.891	40	795.408	709.040	0.159	16.470
		3	10	66.25	66.43	66.74	66.473	6.647	0.934	43	855.064	798.843	0.159	19.050
												728.644		17.022
4	7.38	1	10	68.38	68.56	68.17	68.370	6.837	0.887	37	735.752	652.888	0.159	15.138
		2	10	68.69	69.26	68.8	68.917	6.892	0.878	38	755.638	663.780	0.159	15.268
		3	10	66.21	66.20	67.08	66.497	6.650	0.934	40	795.408	742.762	0.159	17.707
												686.477		16.037
5	7.37	1	10	66.77	67.17	66.78	66.907	6.691	0.942	35	695.982	655.789	0.159	15.537
		2	10	69.07	68.31	68.96	68.780	6.878	0.881	38	755.638	665.717	0.159	15.343
		3	10	68.45	68.05	67.61	68.037	6.804	0.905	38	755.638	683.805	0.159	15.932
												668.437		15.604

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti,

(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269



Lampiran 30. Pengujian *Indirect Tensile Strength* 24 Jam dari Hasil KAO

PENGUJIAN *INDIRECT TENSILE STRENGTH* 24 JAM DARI HASIL KAO

Tanggal Pengujian : 15 Januari 2020
Tipe Campuran : *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11

Dikerjakan Oleh : Rafi Fadhil Nugroho
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D

Kadar Oli Bekas (%)	KAO (%)	Sampel	Diameter (cm)	Tebal (mm)			Tebal Rata-rata			Stabilitas			Δ0	ITS (kg/cm ²)
				l1	l2	l3	mm	cm	Angka koreksi	Arloji Stab	Stab * Kalibrasi	Stabilitas (kg)		
0	7.34	1	10	67.39	67.69	67.16	67.413	6.741	0.912	36	715.867	652.990	0.159	15.355
		2	10	64.99	65.64	65.36	65.330	6.533	0.956	33	656.212	627.133	0.159	15.217
		3	10	66.19	66.67	66.26	66.372	6.637	0.936	35	686.039	642.240	0.159	15.339
											640.788		15.304	
2	7.34	1	10	69.23	68.1	67.81	68.380	6.838	0.889	36	715.867	636.048	0.159	14.745
		2	10	67.31	67.26	67.82	67.463	6.746	0.911	42	835.178	760.778	0.159	17.876
		3	10	68.27	67.68	67.82	67.923	6.792	0.899	39	775.523	697.550	0.159	16.280
											698.125		16.300	
3	7.37	1	10	65.75	66.49	66.17	66.137	6.614	0.944	32	636.326	598.505	0.159	14.345
		2	10	66.63	65.8	65.89	66.107	6.611	0.941	39	775.523	729.864	0.159	17.502
		3	10	66.19	66.15	66.03	66.122	6.612	0.941	36	705.925	664.165	0.159	15.923
											664.178		15.923	
4	7.38	1	10	63.39	63.90	63.89	63.727	6.373	0.994	33	656.212	652.493	0.159	16.231
		2	10	66.52	66.88	66.04	66.480	6.648	0.934	30	596.556	557.258	0.159	13.288
		3	10	64.96	65.39	64.97	65.103	6.510	0.960	32	626.384	601.289	0.159	14.641
											603.680		14.720	
5	7.37	1	10	65.94	65.99	66.52	66.150	6.615	0.934	28	556.786	519.899	0.159	12.459
		2	10	64.75	64.47	64.28	64.500	6.450	0.971	32	636.326	618.032	0.159	15.189
		3	10	65.35	65.23	65.40	65.325	6.533	0.956	30	596.556	570.177	0.159	13.836
											569.369		13.828	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti,

(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269

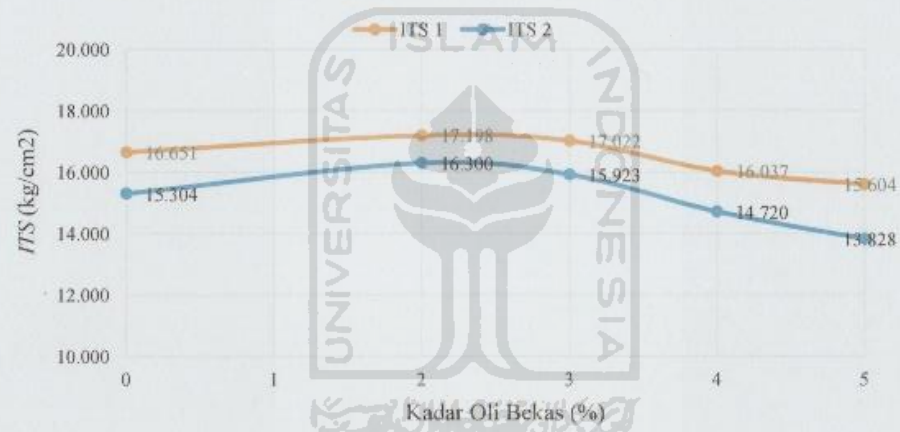


Lampiran 31. Grafik Perbandingan Hasil Pengujian ITS 1 dan ITS 2 dengan KAO

HASIL PENGUJIAN ITS 1 dan ITS 2

Tanggal Pengujian : 5 Februari 2020
Tipe Campuran : Split Mastix Asphalt (SMA) 0/11

Dikerjakan Oleh : Rafi Fadhil Nugroho
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.



Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti,

(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269



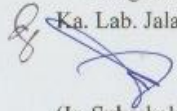
Lampiran 32. Pengujian *Cantabro* dari Hasil KAO

PENGUJIAN *CANTABRO* DARI HASIL KAO

Tanggal Pengujian : 5 Desember 2019
Tipe Campuran : *Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11*

Dikerjakan Oleh : Rafi Fadhil Nugroho
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D

Kadar Oli (%)	Sampel	Berat Benda Uji (gr)		Berat Sebelum Di Abrasi (gr)	Kehilangan Berat (%)	Rata-rata Kehilangan Berat (%)
		Mo	Mi	(Mo-Mi)		
0	1	1180.78	1156.44	24.34	2.0613	2.2792
	2	1170.44	1139.96	30.48	2.6041	
	3	1177.58	1152.00	25.58	2.1723	
2	1	1175.84	1153.74	22.1	1.8795	2.1312
	2	1178.32	1153.27	25.05	2.1259	
	3	1176.2	1148.11	28.09	2.3882	
3	1	1187.48	1164.27	23.21	1.9546	2.2131
	2	1173.28	1145.45	27.83	2.3720	
	3	1172.62	1145.50	27.12	2.3128	
4	1	1174.44	1145.86	28.58	2.4335	2.6730
	2	1182.13	1147.70	34.43	2.9125	
	3	1175.98	1142.89	33.09	2.8138	
5	1	1179.63	1149.66	29.97	2.5406	3.0404
	2	1175.05	1133.72	41.33	3.5173	
	3	1189.25	1152.82	36.43	3.0633	

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya
(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti,

(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269



LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN
Lingkungan, Muli, Neter
Komplek Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kalirejo km 14,5 Yogyakarta 55581
T. (0274) 598444 ext 3200, 3201
F. (0274) 595130
E. dekanat.fkip@uii.ac.id
W. fkip.uii.ac.id

Lampiran 33. Pengujian durabilitas 24 Jam pada Campuran SMA

PENGUJIAN DURABILITAS 24 JAM PADA CAMPURAN *SPLIT MASTIC ASPHALT 0/11*

Tahun Pengujian : 5 Februari 2020

Dikerjakan Oleh: Rafi Fadhil Nugroho

Campuran : *Split Mastic Asphalt*

Diperiksa Oleh : MiftahulFauziah, S.T., M.T., Ph.D

Kadar Oli Bekas	Immersion (Jam)	IKS (%)	IDP (%)
0	0.5	100	0.280
	48	86.70	
2	0.5	100	0.293
	48	86.10	
3	0.5	100	0.393
	48	81.35	
4	0.5	100	0.452
	48	78.54	
5	0.5	100	0.463
	48	77.98	

Kadar Oli Bekas	Immersion (Jam)	IKS (%)	Penurunan (%)	Waktu	IDK (%)	Sa (%)
0	0.5	100	13.30	47.5	6.579	93.421
	48	86.70				
2	0.5	100	13.90	47.5	6.875	93.125
	48	86.10				
3	0.5	100	18.65	47.5	9.230	90.770
	48	81.35				
4	0.5	100	21.46	47.5	10.619	89.381
	48	78.54				
5	0.5	100	22.02	47.5	10.893	89.107
	48	77.98				

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020

Peneliti,

(Rafi Fadhil Nugroho)

15511269



LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung XII, 15th, 15th
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 890444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895130
E. dekanat@uii.ac.id
W. www.uii.ac.id

Lampiran 34. Hasil Analisis Statistik Pengujian dengan Anova (Test of Homogeneity of variances)

HASIL ANALISIS STATISTIK PENGUJIAN DENGAN ANOVA (TEST OF HOMOGENITY OF VARIANCES)

Tahun Pengujian : 6 Februari 2020

Dikerjakan Oleh: Rafi Fadhil Nugroho

Campuran : Split Mastic Asphalt

Diperiksa Oleh : MiftahulFauziah,S.T.,M.T.,Ph.D

Test of Homogeneity of Variances				
	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Nilai Stabilitas	.624	4	10	.656
Nilai Flow	1.178	4	10	.377
Nilai MQ	1.512	4	10	.271
Nilai VMA	2.000	4	10	.171
Nilai VFWA	2.067	4	10	.160
Nilai VITM	2.243	4	10	.137
Nilai Density	4.427	4	10	.026
Nilai IRS 24 jam	.501	4	10	.736
Nilai IRS 48 Jam	.902	4	10	.499
Nilai ITS	1.920	4	10	.184
Uji_Cantabro	.568	4	10	.692

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya

(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020

Peneliti,

(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269



LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kalirejo km 1,5 Yogyakarta 55584
T. (0271) 896444 ext 3200, 3201
F. (0271) 895330
E. idkhariz@fkip.uin.ac.id
W. fkip.uin.ac.id

Lampiran 35. Hasil Analisis Statistik Pengujian dengan ANOVA

HASIL ANALISIS STATIK PENGUJIAN DENGAN ANOVA

Tahun Pengujian : 6 Februari 2020

Dikerjakan Oleh: Rafi Fadhil Nugroho

Campuran : Split Mastic Asphalt

Diperiksa Oleh : MiftahulFauziah, S.T., M.T., Ph.D

		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Nilai Stabilitas	Between Groups	45140.232	4	11285.058	2.046	.164
	Within Groups	55163.823	10	5516.382		
	Total	100304.055	14			
Nilai Flow	Between Groups	.149	4	.037	.306	.867
	Within Groups	1.220	10	.122		
	Total	1.369	14			
Nilai MQ	Between Groups	5925.056	4	1481.264	1.007	.448
	Within Groups	14712.261	10	1471.226		
	Total	20637.317	14			
Nilai VMA	Between Groups	.019	4	.005	.861	.520
	Within Groups	.055	10	.005		
	Total	.074	14			
Nilai VFWA	Between Groups	1.330	4	.332	2.735	.090
	Within Groups	1.216	10	.122		
	Total	2.546	14			
Nilai VITM	Between Groups	.073	4	.018	2.238	.138
	Within Groups	.082	10	.008		
	Total	.155	14			
Nilai Density	Between Groups	.000	4	.000	1.858	.194
	Within Groups	.000	10	.000		
	Total	.000	14			
Nilai IRS 24 jam	Between Groups	70065.793	4	17516.448	21.122	.000
	Within Groups	8292.877	10	829.288		
	Total	78358.670	14			
Nilai IRS 48 Jam	Between Groups	70775.184	4	17693.796	12.120	.001
	Within Groups	14598.814	10	1459.881		
	Total	85373.999	14			
Nilai ITS	Between Groups	5.398	4	1.349	.687	.617
	Within Groups	19.633	10	1.963		
	Total	25.031	14			
Uji_Cantabro	Between Groups	1.814	4	.454	4.528	.024
	Within Groups	1.002	10	.100		
	Total	2.816	14			

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya

(Ir. Subarkah, M.T)

Yogyakarta, 26 April 2020

Peneliti,

(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269

(Ir. Subarkah, M.T)

(Rafi Fadhil Nugroho)
15511269

