



TUGAS AKHIR TERAPAN - VC 181819

**PENGARUH SUHU PEMADATAN TERHADAP
KARAKTERISTIK HASIL UJI MARSHALL UNTUK
CAMPURAN LASTON LAPIS PONDASI (AC-BASE)
DENGAN PENAMBAHAN PLASTIK TIPE
*POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET)***

HERTANTO GUNAWAN
NRP. 10111510000065

Dosen Pembimbing
Dr. Machsus, ST., MT.
NIP. 19730914 200501 1 002

PROGRAM SARJANA TERAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019



TUGAS AKHIR TERAPAN - VC 181819

**PENGARUH SUHU PEMADATAN TERHADAP
KARAKTERISTIK HASIL UJI MARSHALL UNTUK
CAMPURAN LASTON LAPIS PONDASI (AC-BASE)
DENGAN PENAMBAHAN PLASTIK TIPE
*POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET)***

HERTANTO GUNAWAN
NRP. 10111510000065

Dosen Pembimbing
Dr. Machsus, ST., MT.
NIP. 19730914 200501 1 002

PROGRAM SARJANA TERAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019



FINAL APPLIED PROJECT - VC 181819

**THE EFFECT OF COMPACTION TEMPERATURE
ON THE CHARACTERISTIC OF MARSHALL TEST
RESULT FOR ASPHALT CONCRETE - BASE
MIXED WITH POLYETHYLENE TEREPHTHALATE
(PET)**

**HERTANTO GUNAWAN
NRP. 10111510000065**

**Supervisor
Dr. Machsus, ST., MT.
NIP. 19730914 200501 1 002**

**APPLIED UNDERGRADUATE PROGRAM
CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING DEPARTMENT
VOCATIONAL FACULTY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019**

LEMBAR PENGESAHAN

**“PENGARUH SUHU PEMADATAN TERHADAP
KARAKTERISTIK HASIL UJI MARSHALL UNTUK
CAMPURAN LASTON LAPIS PONDASI (AC-BASE)
DENGAN PENAMBAHAN PLASTIK TIPE
POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET)”**

TUGAS AKHIR TERAPAN

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik Terapan

Pada

Program Studi Diploma IV Teknik Infrastruktur Sipil
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Disusun oleh:
MAHASISWA,



HERTANTO GUNAWAN

NRP. 10111510000065



Disetujui oleh:
DOSEN PEMBIMBING,

25 JUL 2019

DR. MACIUSUS, ST., MT.
NIP. 19730914 200501 1 002

	BERITA ACARA TUGAS AKHIR TERAPAN PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNIK SIPIL DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL FAKULTAS VOKASI ITS	No. Agenda : 44852/IT2.VI.8.1/PP.05.02/20199
		Tanggal : 16 Juli 2019

Judul Tugas Akhir Terapan	Pengaruh Suhu Pematatan Terhadap Karakteristik Hasil Uji Marshall pada Campuran Laston Lapis Pondasi (AC-BASE) dengan Penambahan Plastik Tipe POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET)		
Nama Mahasiswa	Hertanto Gunawan	NRP	10111511000965
Dosen Pembimbing 1	Dr. Machsus, ST.MT NIP 19730914 200501 1 002	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	- NIP -	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
<ol style="list-style-type: none"> 1. Tambahkan ilustrasi dan parameter Marshall pada Bab II - Teori - Pengantar 2. Pengukuran hasil pematatan 40/50 s.dg. bahan campuran tersebut seperti apa? 	 Ir. Djoko Sulistiono, MT NIP 19541002 198512 1 001
<ol style="list-style-type: none"> 1. Dasar pemikiran penelitian ds suhu 100 - 180 2. Tata tulis = Flow Chart (bentuk), Tabel, Uraian 3. Saran Perbaikan Terbaru 	 Amalia Firdaus Mawardi, ST. MT NIP 19770218 200501 2 002
	- NIP -
	- NIP -

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
 Ir. Djoko Sulistiono, MT NIP 19541002 198512 1 001	 Amalia Firdaus Mawardi, ST. MT NIP 19770218 200501 2 002	-	-
		NIP -	NIP -

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjiilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1 Dr. Machsus, ST.MT NIP 19730914 200501 1 002	Dosen Pembimbing 2 - NIP -



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS , Jl. Menur 127 Surabaya 60118
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Hertanto Gunawan 2
NRP : 1011151000065 2
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Suhu Pemadatan Terhadap Karakteristik Hasil Uji Marshall untuk Campuran Laston lapis Pasadisi (AC-Bose) dengan Penambahan Plastik Tipe Polyetylene Terephthalata (PET)
Dosen Pembimbing : Dr. Machsus, ST., MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1.	27-03-2019	- Uji karakteristik Aspal pada 9 suhu tetap dilaksanakan - Uji Karakteristik aspal panas Suatu suhu panasnya diusahakan stabil sesuai suhu yang ditunjukkan - PET dipotong lebih kecil		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	23-04-2019	- Buat grafik pengaruh temperatur terhadap karakter. istik marshall - Buat rata-rata pada kolom hasil aktual		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.	12-05-2019	- Grafik tidak perlu perbandingan konvensional dan modifikasi - Statement yang di lampirkan dapat dari buku juga dari hasil penelitian sebelumnya		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1. HERTANTO GUNAWAN 2
NRP : 11011510000065 2
Judul Tugas Akhir : Pengaruh suhu pematangan terhadap karakteristik hasil uji Marshall untuk Campuran Laston Lapis Pondasi (AC-Base) dengan Penambahan Plastik tipe Polyethylene Terephthalate (PET)
Dosen Pembimbing : Dr. Machsus, ST., MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan
4.	17-05-2019	- Grafik yang disajikan sudah dalam perbandingan - 1. Deskripsi grafik 2. Teoritis dari spesifikasi umum dan buku a. Jurnal/paper internasional 4. Jurnal/paper nasional 8. Justifikasi kesimpulan		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5.	24-05-2019	- Kalimat yang terlalu panjang dapat mis persepsi. Perbaiki redaksi !!! - Justifikasi diperbaiki sesuai penelitian sebelumnya dan cari hubungan atau persamaannya - R ² statistic ditambahkan		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
6.	27-05-2019	- Perbaiki redaksi apabila bab 2.1 maknanya membahas hasil uji nya - Pembahasan R ² maknanya pada Pembahasan grafik - Rentang R ² dicantumkan		<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947837 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Hertanto Gunawan / 2
NRP : 1 10115100000 65 / 2
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Suhu Pemadatan terhadap Karakteristik Hasil Uji Marshall untuk Campuran Laston Lapis Pondasi (AK-Base) dengan Penambahan Plastik Tipe Polyethylene Terethinikale (PET)
Dosen Pembimbing : Dr. Mochsus ST.MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan									
7.	13 Juni - 2019	<ul style="list-style-type: none"> Sub-bab Sejalan dengan bab Urutan tahun penelitian terdahulu Penjelasan pma dll pada penelitian terdahulu masih dalam teori bab 2 grafic karakteristik aspal konvensional hanya titik bukan garis Nomor sivi tiap uji aspal dicantumkan Contoh perhitungan 1, kemudian E Randa uji 1 bulu, rata-rata semasa. Penjelasan hitungan lainnya pada lampiran dengan nomor lampiran aku minimum dan optimum beserta narasi yang menjelaskan mengapa Narasi kesimpulan berdasarkan tabel # kolompok lebih tinggi dll 		<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>C</td> <td>K</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>				B	C	K	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B	C	K											
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>											
				<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>C</td> <td>K</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>				B	C	K	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B	C	K											
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>											
				<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>C</td> <td>K</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>				B	C	K	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B	C	K											
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>											

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal

**PENGARUH SUHU PEMADATAN TERHADAP
KARAKTERISTIK HASIL UJI MARSHALL UNTUK
CAMPURAN LASTON LAPIS PONDASI (*AC-BASE*)
DENGAN PENAMBAHAN PLASTIK TIPE
*POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET)***

Nama Mahasiwa : Hertanto Gunawan
NRP : 10111510000065
Dosen Pembimbing : Dr. Machsus, ST., MT.
NIP : 19730914 200501 1 002

ABSTRAK

Banyak penelitian yang memanfaatkan sampah plastik sebagai bahan tambahan campuran aspal beton. Akan tetapi, dibutuhkan suhu pencampuran antara 180°C-200°C agar plastik PET dan aspal menjadi homogen. Pelaksanaan di lapangan tidak mungkin mempertahankan suhu tersebut. Penelitian ini bertujuan memperoleh suhu pemadatan optimum *AC-Base* tanpa dan dengan penambahan plastik PET.

Komposisi proporsi agregat, kadar aspal optimum, dan kadar penambahan PET menggunakan data Derina Septia Pratiwi (2018). Variasi suhu pemadatan antara 100°C-180°C dengan kenaikan setiap 10°C. Penelitian ini mengacu pada spesifikasi umum Kementerian Pekerjaan Umum Bina Marga Revisi III tahun 2010. Metode yang digunakan merupakan metode basah.

Hasilnya, pada aspal beton tanpa dan dengan penambahan plastik PET nilai kepadatan, VFA, stabilitas, dan MQ semakin meningkat seiring dengan peningkatan suhu pemadatan, sedangkan nilai VIM, VMA, dan *flow* menurun. *AC-Base* konvensional dapat dilakukan pemadatan pada suhu minimum 140°C dengan suhu pemadatan optimum pada 150°C, sedangkan suhu 160°C menjadi suhu pemadatan minimum dan optimum untuk *AC-Base* modifikasi.

Kata kunci: PET, *AC-Base*, Karakteristik Marshall, Suhu Pemadatan

THE EFFECT OF COMPACTION TEMPERATURE ON THE CHARACTERISTIC OF MARSHALL TEST RESULT FOR ASPHALT CONCRETE - BASE MIXED WITH POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET)

Name of Student : Hertanto Gunawan
NRP : 10111510000065
Supervisor : Dr. Machsus, ST., MT.
NIP : 19730914 200501 1 002

ABSTRACT

Many studies use plastic waste as an additional material for concrete asphalt mixture. However, mixing temperatures are required between 180°C-200°C so that PET and asphalt become homogeneous. Implementation in the field is not possible to maintain that temperature. This study aims to obtain optimum AC-Base compaction temperature without and with the addition of PET.

Composition of aggregate proportions, optimum bitumen content, and levels of addition of PET by Derina Septia Pratiwi data (2018). The variation in compaction temperature is between 100°C-180°C and increases every 10°C. This study refers to the general specifications of the Kementrian Pekerjaan Umum Bina Marga 3rd Revision in 2010. The method used is the wet method.

The result, on concrete asphalt without and with the addition of PET the value of density, VFA, stability, and MQ increases with increasing compaction temperature, while the value of VIM, VMA, and flow decreases. Conventional AC-Base can be compacted at a minimum temperature of 140°C with optimum compaction temperature at 150°C, while the temperature of 160°C becomes the minimum and optimum compaction temperature for modified AC-Base.

Keyword: PET, AC-Base, Marshall Characteristic, Compaction Temperature

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya yang tak ternilai. Sholawat dan salam selalu tertuju pada Nabi Muhammad SAW yang senantiasa mendoakan keselamatan umatnya.

Alhamdulillah berkat kerja keras dan kerjasama dari berbagai pihak, penulis berhasil menyelesaikan tugas akhir terapan dengan judul **“Pengaruh Suhu Pemadatan terhadap Karakteristik Hasil Uji Marshall untuk Cacmpuran Laston Lapis Pondasi (AC-BASE) dengan Penambahan Plastik Tipe Polyethylene Terephthalate (PET)”**. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang ikut serta dalam membantu dalam menyelesaikan laporan ini:

1. Orang tua dan keluarga besar penulis yang mendukung perjuangan penulis dan selalu melantunkan doa-doa untuk perjuangan penulis.
2. Bapak Dr. Machsus, ST., MT., selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, masukan, dan dukungan kepada penulis.
3. Tim penelitian aspal plastik beserta karyawan laboratorium jalan yang membantu dan membimbing selama penelitian.
4. Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Infrastruktur Sipil yang tidak dapat saya tulis satu-persatu, yang telah memberikan ilmu selama penulis belajar di bangku perkuliahan dan menyusun tugas akhir.
5. Adi Ariyanti, Ahmad Faqqihul, Andiatma Nur Irfan Wicaksono, Anggardha Yanotama, Farraz Haidar Akbar, dan Mohammad Firlil Firdausi selaku teman-teman yang bersama-sama menjalani penelitian ini.
6. Teman-teman Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, ITS yang telah memberikan bantuannya kepada penulis dalam membuat laporan ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini terdapat banyak kekurangan serta kekhilafan. Oleh sebab itu komentar, kritik, dan saran yang membangun sangat penulis butuhkan demi kebaikan dan pengembangan tugas akhir ini agar dapat bermanfaat dan lebih baik kedepannya.

Surabaya, 16 Juni 2019

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR BERITA ACARA	vi
LEMBAR ASISTENSI	vi
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Lokasi Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Aspal.....	7
2.1.1 Uji Karakteristik Aspal.....	9
2.2. Laston Lapis Pondasi (<i>AC-Base</i>).....	13
2.2.1 Parameter Marshall.....	17
2.3. <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET)	24
2.4. Suhu Pematatan	24
2.5. Penelitian Terdahulu.....	25
2.5.1 Pengaruh Penggunaan Limbah Botol Plastik sebagai Bahan Tambah terhadap Karakteristik Lapis Aspal Beton (Laston).....	25
2.5.2 Kajian Suhu Optimum pada Proses Pematatan untuk Campuran Beraspal dengan Menggunakan Modifikasi Bitumen Limbah Plastik.....	29
2.5.3 Pengaruh Suhu Pematatan Campuran untuk Perkerasan Lapis Antara (<i>AC-BC</i>)	36

2.5.4	Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Pondasi (<i>AC-Base</i>) terhadap Pengaruh Plastik <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET).....	39
2.6.	Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu.....	48
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		51
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	51
3.2	Studi Literatur.....	52
3.3	Penentuan Spesifikasi.....	53
3.4	Persiapan Alat dan Bahan.....	54
3.4.1	Limbah Botol Plastik <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET).....	55
3.4.2	Agregat Kasar.....	55
3.4.3	Agregat Sedang.....	56
3.4.4	Agregat Halus.....	56
3.4.5	Aspal.....	57
3.5	Uji Karakteristik Aspal.....	57
3.5.1	Uji Penetrasi.....	58
3.5.2	Uji Titik Lembek.....	58
3.5.3	Uji Titik Nyala.....	59
3.5.4	Uji Daktilitas.....	59
3.5.5	Uji Kehilangan Berat.....	60
3.5.6	Uji Berat Jenis.....	60
3.6	Pembuatan Benda Uji <i>AC-Base</i> Konvensional.....	61
3.7	Pembuatan Benda Uji <i>AC-Base</i> Modifikasi.....	63
3.8	Tata Cara Pelaksanaan.....	64
3.9	Uji Marshall.....	66
3.10	Hasil dan Pembahasan.....	66
3.11	Kesimpulan dan Saran.....	67
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		69
4.1	Hasil Uji Karakteristik Aspal.....	69
4.1.1	Uji Penetrasi.....	69
4.1.2	Uji titik lembek.....	71
4.1.3	Uji Titik Nyala.....	74
4.1.4	Uji Daktilitas.....	76
4.1.5	Uji Kehilangan Berat.....	78

4.1.6	Uji Berat Jenis	80
4.2	Hasil Uji Aspal Beton Konvensional.....	83
4.2.1	Kepadatan (<i>Density</i>)	83
4.2.2	Rongga Dalam Campuran (VIM).....	85
4.2.3	Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA).....	88
4.2.4	Rongga Terisi Aspal (VFA)	91
4.2.5	Stabilitas	93
4.2.6	Pelelehan (<i>Flow</i>).....	96
4.2.7	<i>Marshall Quotient</i>	99
4.3	Hasil Uji Aspal Beton Modifikasi	102
4.3.1	Kepadatan (<i>Density</i>)	102
4.3.2	Rongga dalam campuran (VIM).....	104
4.3.3	Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA).....	107
4.3.4	Rongga terisi aspal (VFA).....	110
4.3.5	Stabilitas	112
4.3.6	Pelelehan (<i>Flow</i>).....	115
4.3.7	<i>Marshall quotient</i>	118
4.4	Penentuan Suhu Minimum dan Optimum Pematatan 121	
4.5	Perbandingan Hasil Uji Aspal Beton Konvensional dan Modifikasi.....	122
4.5.1	Kepadatan (<i>Density</i>)	122
4.5.2	Rongga Dalam Campuran (VIM).....	124
4.5.3	Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA).....	125
4.5.4	Rongga Terisi Aspal (VFA)	126
4.5.5	Stabilitas	127
4.5.6	Pelelehan (<i>Flow</i>).....	128
4.5.7	<i>Marshall quotient</i>	129
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		131
5.1	Kesimpulan.....	131
5.2	Saran.....	132
DAFTAR PUSTAKA.....		133
BIODATA PENULIS.....		135
LAMPIRAN		137

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sturuktur Perkerasan Lapisan Aspal Beton	15
Gambar 2.2 Ilustrasi Visual VIM, VMA, dan VFA	19
Gambar 2.3 Grafik Hubungan <i>Density</i> terhadap Penambahan Kadar Aspal dan Plasti	26
Gambar 2.4 Grafik Hubungan VIM terhadap Penambahan Kadar Aspal dan Plasti	26
Gambar 2.5 Grafik Hubungan VFA terhadap Penambahan Kadar Aspal dan Plasti	27
Gambar 2.6 Grafik Hubungan Stabilitas terhadap Penambahan Kadar Aspal dan Plasti	27
Gambar 2.7 Grafik Hubungan <i>Flow</i> terhadap Penambahan Kadar Aspal dan Plasti	28
Gambar 2.8 Grafik Hubungan <i>Marshall Quotient</i> terhadap Penambahan Kadar Aspal dan Plastik	28
Gambar 2. 9 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap VIM.	30
Gambar 2.10 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap VMA	30
Gambar 2.11 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap VFA	31
Gambar 2.12 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap Stabilitas	31
Gambar 2.13 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap <i>Flow</i>	32
Gambar 2.14 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap VIM	32
Gambar 2.15 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap VMA	33
Gambar 2.16 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap VFA	33
Gambar 2.17 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap Stabilitas	34
Gambar 2.20 Grafik Hasil Uji VIM.....	41
Gambar 2.21 Grafik Hasil Uji VMA	41
Gambar 2.22 Grafik Hasil Uji VFA	42
Gambar 2.23 Grafik Hasil Uji Stabilitas	42
Gambar 2.24 Grafik Hasil Uji <i>Flow</i>	43
Gambar 2.25 Grafik Hasil Uji <i>Marshall Quotient</i>	43

Gambar 2.26 Grafik Hasil Benda Uji pada Parameter VIM tanpa dan dengan PET.....	45
Gambar 2.27 Grafik Hasil Benda Uji pada Parameter VMA tanpa dan dengan PET.....	45
Gambar 2.30 Grafik Hasil Benda Uji pada Parameter <i>flow</i> tanpa dan dengan PET.....	47
Gambar 2.31 Grafik Hasil Benda Uji pada Parameter MQ tanpa dan dengan PET.....	47
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	52
Gambar 3.2 Plastik PET Cacah.....	55
Gambar 3.3 Agregat Kasar.....	55
Gambar 3.4 Agregat Sedang.....	56
Gambar 3.5 Agregat Halus.....	56
Gambar 3.6 Aspal Penetrasi 60/70.....	57
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Suhu Pencampuran Aspal dan Plastik terhadap Penetrasi.....	70
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Suhu Pencampuran Aspal dan Plastik terhadap Titik Lembek.....	73
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Suhu Pencampuran Aspal dan Plastik terhadap Titik Nyala.....	75
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Suhu Pencampuran Aspal dan Plastik terhadap Daktilitas.....	77
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Suhu Pencampuran Aspal dan Plastik terhadap Kehilangan Berat.....	79
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Suhu Pencampuran Aspal dan Plastik terhadap Berat Jenis.....	82
Gambar 4.7 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap Kepadatan.....	84
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap VIM..	86
Gambar 4.9 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap VMA	89
Gambar 4.10 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap VFA	92
Gambar 4.11 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap Stabilitas.....	94
Gambar 4.12 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap Pelelehan.....	97

Gambar 4.13 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap MQ100	
Gambar 4.14 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap Kepadatan.....	103
Gambar 4.15 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap VIM	105
Gambar 4.16 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap VMA	108
Gambar 4.17 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap VFA	111
Gambar 4.18 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap Stabilitas	113
Gambar 4.19 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap Pelelehan	116
Gambar 4.20 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap MQ119	
Gambar 4.21 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap Kepadatan.....	122
Gambar 4.22 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap VIM	124
Gambar 4.23 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap VMA	125
Gambar 4.24 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap VFA	126
Gambar 4.25 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap Stabilitas	127
Gambar 4.26 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap Pelelehan	128
Gambar 4.27 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap MQ129	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ketentuan-ketentuan untuk Aspal Keras	7
Tabel 2.2 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC)	15
Tabel 2.3 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston yang Dimodifikasi (<i>AC-Mod</i>).....	16
Tabel 2.4 Suhu Pemadatan Campuran Aspal Panas di Lapangan	25
Tabel 2.5 Proporsi Campuran Aspal Beton Lapis Antara (<i>AC-BC</i>)	36
Tabel 2.6 Hasil Pengujian Sampel pada Batas Tengah	37
Tabel 2.7 Hasil Pengujian Sampel Batas Tengah dengan Kadar Aspal Optimum 6,1%	38
Tabel 2.8 Penentuan Nilai Kadar Aspal Optimum	44
Tabel 3.1 Proporsi Campuran <i>AC-Base</i> Konvensional.....	53
Tabel 3.2 Proporsi Campuran <i>AC-Base</i> Modifikasi	54
Tabel 3.3 Rencana Kode Benda Uji <i>AC-Base</i> Konvensional.....	65
Tabel 3.4 Rencana Kode Benda Uji <i>AC-Base</i> Modifikasi.....	65
Tabel 4.1 Penetrasi Suhu Pencampuran 100°C.....	69
Tabel 4.2 Hasil Uji Penetrasi terhadap Suhu Pencampuran Aspal dan Plastik	70
Tabel 4.3 Titik Lembek Suhu Pencampuran 100°C	71
Tabel 4.4 Hasil Uji Titik Lembek terhadap Suhu Pencampuran Aspal dan Plastik	72
Tabel 4.5 Titik Nyala Suhu Pencampuran 100°C.....	74
Tabel 4.6 Hasil Uji Titik Nyala terhadap Suhu Pencampuran Aspal dan Plastik	74
Tabel 4.7 Daktilitas Suhu Pencampuran 100°C.....	76
Tabel 4.8 Hasil Uji Daktilitas terhadap Suhu Pencampuran Aspal dan Plastik	76
Tabel 4.9 Kehilangan Berat Suhu Pencampuran 100°C	78
Tabel 4.10 Hasil Uji Kehilangan Berat terhadap Suhu Pencampuran Aspal dan Plastik	79
Tabel 4.11 Berat Jenis Suhu Pencampuran 100°C.....	80
Tabel 4.12 Hasil Uji Berat Jenis terhadap Suhu Pencampuran Aspal dan Plastik	81

Tabel 4.13 Hasil Uji Kepadatan Aspal Beton Konvensional Suhu Pematatan 100°C.....	83
Tabel 4.14 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji Kepadatan.....	84
Tabel 4.15 Hasil Uji VIM Aspal Beton Konvensional Suhu Pematatan 100°C.....	85
Tabel 4.16 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji VIM.....	86
Tabel 4.17 Hasil Uji VMA Aspal Beton Konvensional Suhu Pematatan 100°C.....	88
Tabel 4.18 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji VMA.....	89
Tabel 4.19 Hasil Uji VFA Aspal Beton Konvensional Suhu Pematatan 100°C.....	91
Tabel 4.20 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji VFA.....	91
Tabel 4.21 Hasil Uji Stabilitas Aspal Beton Konvensional Suhu Pematatan 100°C.....	93
Tabel 4.22 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji Stabilitas.....	94
Tabel 4.23 Hasil Uji Pelelehan Aspal Beton Konvensional Suhu Pematatan 100°C.....	96
Tabel 4.24 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji Pelelehan.....	97
Tabel 4.25 Hasil Uji MQ Aspal Beton Konvensional Suhu Pematatan 100°C.....	99
Tabel 4.26 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji MQ.....	100
Tabel 4.27 Hasil Uji Kepadatan Aspal Beton Modifikasi Suhu Pematatan 100°C.....	102
Tabel 4.28 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji Kepadatan.....	103
Tabel 4.29 Hasil Uji VIM Aspal Beton Modifikasi Suhu Pematatan 100°C.....	104
Tabel 4.30 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji VIM.....	105
Tabel 4.31 Hasil Uji VMA Aspal Beton Modifikasi Suhu Pematatan 100°C.....	107
Tabel 4.32 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji VMA.....	108
Tabel 4.33 Hasil Uji VFA Aspal Beton Modifikasi Suhu Pematatan 100°C.....	110
Tabel 4.34 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji VFA.....	110
Tabel 4.35 Hasil Uji Stabilitas Aspal Beton Modifikasi Suhu Pematatan 100°C.....	112

Tabel 4.36 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji Stabilitas	113
Tabel 4.37 Hasil Uji Pelelehan Aspal Beton Modifikasi Suhu Pematatan 100°C.....	115
Tabel 4.38 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji Pelelehan	116
Tabel 4.39 Hasil Uji MQ Aspal Beton Modifikasi Suhu Pematatan 100°C.....	118
Tabel 4.40 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji MQ	119
Tabel 4.41 Rekapitulasi Hasil Uji Marshall Aspal Beton Konvensional.....	121
Tabel 4.42 Rekapitulasi Hasil Uji Marshall Aspal Beton Modifikasi	121

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era globalisasi ini penggunaan kemasan plastik sudah menjadi kebutuhan dalam kehidupan sehari-hari. Menurut Direktur Jendral Pengelolaan Sampah, Limbah, dan Bahan Berbahaya dan Beracun (Dirjen PSLB3) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (LHK), Tuti Hendrawati Mintarsih (2016) menjelaskan bahwa pada tahun 2016 ada sekitar 65 juta ton sampah per hari yang diproduksi masyarakat Indonesia. Jumlah ini naik satu juta ton dibanding tahun sebelumnya. Pada tahun 2019 diprediksi ada sekitar 68 juta ton sampah per hari yang diproduksi masyarakat Indonesia. Sampah botol minum plastik dengan jenis plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) yang paling dominan digunakan karena bahan plastik ini memiliki tingkat kejernihan yang tinggi, kaku, dan memiliki sifat mampu menyimpan gas serta aroma yang lebih lama. Plastik ini hanya bisa satu kali digunakan yang ditandai dengan segitiga berangka satu, mengakibatkan pembuangannya semakin tidak terkontrol.

Pemerintah terus melaksanakan pembangunan proyek infrastruktur di tahun 2019 melalui Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR), Basuki Hadimuljono (2018) menargetkan adanya pembangunan jalan sepanjang 686,9 km dan preservasi jalan sepanjang 47.221,6 km. Diperlukan inovasi untuk mencari metode pembangunan alternatif yang dapat meningkatkan efektivitas penggunaan biaya yang ada. Menteri PUPR melalui Badan Penelitian dan Pengembangan (Balitbang) telah melakukan penelitian terhadap pemanfaatan limbah plastik sebagai campuran aspal. Penelitian-penelitian terdahulu menjelaskan bahwa penambahan plastik PET dapat meningkatkan mutu pada campuran aspal beton. Hal ini sejalan dengan program pemerintah yang menargetkan mengurangi sampah plastik di laut hingga 70% selama delapan tahun mendatang.

Pada penelitian Derina Septia Pratiwi (2018) mengenai studi karakteristik campuran aspal beton lapis pondasi (*AC-Base*) terhadap pengaruh plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET), didapatkan penambahan kadar plastik PET paling optimum yaitu 8,0% dari berat aspal. Nilai *Marshall Quotient* (MQ) mengalami peningkatan dibanding hanya menggunakan campuran aspal konvensional dengan kadar aspal optimum (KAO) 5,0%, dari 648,8 kg/mm menjadi 1138 kg/mm. Percobaan pencampuran plastik PET dan *AC-Base* dilakukan pada suhu 180°C dan suhu pemadatan berkisar antara 180°C–200°C. Pada prakteknya di lapangan, suhu aspal yang didatangkan dari *Asphalt Mixing Plant* (AMP) tidak bisa menjaga panasnya selama perjalanan menuju lokasi pekerjaan dikarenakan lokasi yang tidak dekat dan beberapa kendala lainnya. Berdasarkan permasalahan tersebut, dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui suhu optimum yang digunakan untuk pemadatan serta diharapkan dapat mengurangi dan memanfaatkan limbah plastik PET guna meminimalisir biaya dalam pembuatan lapisan perkerasan lentur. Variasi suhu pemadatan yang dilakukan pada penelitian ini adalah 100°C, 110°C, 120°C, 130°C, 140°C, 150°C, 160°C, 170°C, dan 180°C. Pengambilan suhu paling rendah 100°C dan paling tinggi 180°C bertujuan untuk mengetahui karakteristik uji marshall aspal beton di luar batas suhu pemadatan yang disyaratkan spesifikasi umum Bina Marga 2010 untuk aspal beton dengan aspal penetrasi 60/70 yaitu 110°C hingga 160°C.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut terdapat beberapa permasalahan yang dapat dikaji dan diuji, sebagai berikut:

- a. Bagaimana perbandingan karakteristik aspal sebelum dan sesudah penambahan plastik tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET) dengan variasi suhu pencampuran?

- b. Bagaimana pengaruh variasi suhu pemadatan pada campuran Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) tanpa penambahan plastik tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET) terhadap karakteristik uji Marshall?
- c. Bagaimana pengaruh variasi suhu pemadatan pada campuran Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) dengan penambahan plastik tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET) terhadap karakteristik uji Marshall?
- d. Berapa suhu pemadatan optimum pada campuran Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) tanpa penambahan plastik tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET)?
- e. Berapa suhu pemadatan optimum pada campuran Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) dengan penambahan plastik tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET)?
- f. Bagaimana perbandingan pengaruh variasi suhu pemadatan pada campuran Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) tanpa dan dengan penambahan plastik tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET) terhadap karakteristik uji Marshall?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang akan menjelaskan permasalahan tersebut dapat dirincikan sebagai berikut:

- a. Mengetahui perbandingan karakteristik aspal sebelum dan sesudah penambahan plastik tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET) dengan variasi suhu pencampuran;
- b. Mengetahui pengaruh variasi suhu pemadatan pada campuran Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) tanpa penambahan plastik tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET) terhadap karakteristik Marshall;
- c. Mengetahui pengaruh variasi suhu pemadatan pada campuran Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) dengan penambahan plastik tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET) terhadap karakteristik Marshall;

- d. Mengetahui suhu pemadatan optimum pada campuran Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) tanpa penambahan plastik tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET);
- e. Mengetahui suhu pemadatan optimum pada campuran Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) dengan penambahan plastik tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET);
- f. Mengetahui perbandingan pengaruh variasi suhu pemadatan pada campuran Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) tanpa dan dengan penambahan plastik tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET) terhadap karakteristik uji Marshall.


1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut:

- a. Aspek keilmuan
 - Memberikan inovasi pengelolaan limbah plastik tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebagai campuran Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*);
 - Mengetahui suhu pemadatan optimum campuran Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) dengan penambahan plastik tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET);
- b. Aspek lingkungan
 - Membantu program pemerintah dalam mengatasi dan mencari solusi pemanfaatan limbah plastik;
 - Mengurangi jumlah limbah plastik di Indonesia.
- c. Aspek konstruksi
 - Meningkatkan kualitas aspal dan nilai tambah plastik sebagai bahan konstruksi;
 - Mengurangi biaya konstruksi.

1.5 Batasan Masalah

Agar penulisan ini tidak terjadi penyimpangan dalam pembahasan maka batasan-batasan masalah dari tugas akhir ini sebagai berikut:

- a. Proporsi campuran menggunakan perencanaan campuran penelitian Derina Septia Pratiwi (2018) mengenai Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) dengan penambahan plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) yang mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi III 2010;
- b. Jenis perkerasan berupa Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*);
- c. Jenis botol plastik yang digunakan tipe *Polyethylene Terephthalate* ();
- d. Jenis aspal dengan penetrasi 60/70;
- e. Kadar aspal optimum 5,0%;
- f. Kadar penambahan plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) 8,0% dari berat aspal;
- g. Metode pencampuran menggunakan metode basah;
- h. Suhu pemadatan campuran Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) tanpa dan dengan plastik tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET) bervariasi pada suhu 100°C, 110°C, 120°C, 130°C, 140°C, 150°C, 160°C, 170°C, dan 180°C;
- i. Tidak membahas kandungan unsur kimia yang terkandung dalam bahan-bahan penelitian dan reaksi kimia yang terjadi pada campuran akibat penggunaan plastik dan aspal.

1.6 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Transportasi dan Geoteknik Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Aspal

Aspal adalah bahan hidrokarbon yang bersifat melekat, berwarna hitam kecoklatan, tahan terhadap air, dan viskoelastis yang berasal dari alam atau pengolahan minyak bumi. Aspal dapat dimodifikasi dengan menggunakan polimer yang diklasifikasikan menjadi tiga kelompok utama, yaitu elastomer termoplastik, plastomers, dan polimer reaktif. Aspal merupakan bahan pengikat pada campuran yang dimanfaatkan sebagai lapis permukaan lapis perkerasan lentur (Roberts, 1991).

Berdasarkan peraturan spesifikasi umum Bina Marga revisi III tahun 2010. Ketentuan untuk jenis aspal yang digunakan dapat dilihat dalam tabel 2.1 berikut

Tabel 2.1 Ketentuan-ketentuan untuk Aspal Keras

No.	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60/70	Tipe II Aspal yang Dimodifikasi	
				A	B
				Asbuton yg diproses	Elastomer Sintetis
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60-70	Min. 50	Min. 40
2	Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s)	SNI 06-6441-2000	160-240	240-360	320-280
3	Viskositas 135°C (cSt)	SNI 06-6441-2000	≥ 300	385-200	≤ 3000
4	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48	≥ 53	≥ 54
5	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥100	≥100	≥100
6	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232	≥ 232	≥ 232
7	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-03	≥ 99	≥ 90	≥ 99

No.	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60/70	Tipe II Aspal yang Dimodifikasi	
				A	B
				Asbuton yg diproses	Elastomer Sintetis
8	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1.0	≥ 1.0	≥ 1.0
9	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	ASTM D 5976 part 6.1	-	≤ 2.2	≤ 2.2
10	Partikel yang lebih halus dari 150 micron (μm) (%)			Min. 95	-
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-5385-2002):					
11	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	$\leq 0,8$	$\leq 0,8$	$\leq 0,8$
12	Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s)	SNI 06-6441-2000	≤ 800	≤ 1200	≤ 1600
13	Penetrasi pada 25°C (%)	SNI 06-2456-1991	≥ 54	≥ 54	≥ 54
14	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	≥ 50	≥ 25
15	Keelastisan setelah Pengambilan (%)	AASHTO T 301-98	-	-	≥ 60

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum. Direktorat Jenderal Binar Marga. Tabel 6.3.2.(5). Spesifikasi Umum 2010 (Revisi III)

2.1.1 Uji Karakteristik Aspal

Pengujian karakteristik aspal diperlukan untuk mengetahui sifat-sifat yang terdapat pada aspal dan sebagai kontrol apakah aspal yang digunakan memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan.

2.1.1.1 Uji Penetrasi

Pengujian penetrasi dapat menunjukkan mutu aspal. Pengujian penetrasi bahan bitumen bertujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal yang dinyatakan dalam masuknya jarum dengan beban tertentu pada suatu selang waktu tertentu pada suhu 25°C. Tingkat kekerasan ini disebut sebagai angka penetrasi dan dijadikan acuan untuk klasifikasi aspal. Semakin besar angka penetrasi maka semakin lembek aspal tersebut sedangkan semakin kecil angka penetrasi maka aspal tersebut semakin keras (Direktorat Jendral Bina Marga, 2010).

Aspal dengan nilai penetrasi yang tinggi jauh melebihi standar disebabkan karena adanya campuran bahan cair lain seperti oli bekas yang sengaja atau tidak sengaja tercampur kedalam aspal, sedangkan aspal dengan nilai penetrasi sangat rendah dapat disebabkan karena tercampurnya bahan bukan aspal seperti *filler* atau pasir dan peningkatan titik lembek aspal dari proses oksidasi (Soehartono, 2015).

Aspal dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas atau lalu lintas bervolume tinggi, sedangkan aspal dengan penetrasi tinggi digunakan pada daerah bercuaca dingin dengan volume lalu lintas rendah. Di Indonesia umumnya digunakan aspal dengan penetrasi 60/70 (Sukirman, 1999).

2.1.1.2 Uji Titik Lembek

Menurut SNI 2434:2001, pengujian titik lembek menghasilkan suhu dimana cincin berisi aspal yang diletakkan secara horizontal di air yang dipanaskan secara teratur menjadi lembek karena beban bola baja di atasnya, sehingga lapisan aspal jatuh menyentuh plat dasar yang terletak di bawah cincin. Batas minimum temperatur titik lembek untuk aspal penetrasi 60/70 adalah 48°C.

Titik lembek perlu diketahui untuk memastikan pada suhu berapa aspal tersebut melembek. Aspal dengan titik lembek yang tinggi kurang peka terhadap perubahan temperatur dan lebih baik untuk bahan pengikat konstruksi jalan, sedangkan aspal dengan titik lembek yang rendah membutuhkan temperatur yang rendah dalam pencampuran dengan agregat. Apabila aspal cepat menjadi lembek maka cepat pula menjadi keras sehingga waktu pelaksanaan campuran di lapangan pun harus dipercepat. Diharapkan titik lembek lebih tinggi dari suhu permukaan jalan sehingga tidak terjadi pelelehan aspal akibat temperatur permukaan jalan, dapat dilakukan usaha mempertinggi titik lembek antara lain dengan menggunakan *filler* terhadap campuran beraspal (Soehartono, 2015).

2.1.1.3 Uji Titik Nyala

Titik nyala adalah suhu pada saat terlihat nyala api singkat pada suatu titik di atas permukaan aspal sekurang-kurangnya 5 detik. Pengujian titik nyala ini bertujuan untuk menentukan temperatur maksimum pemanasan aspal sehingga tidak terbakar. Aspal yang terbakar akan menyebabkan menurunnya kualitas aspal. Pengujian titik nyala dan titik bakar sebaiknya dilakukan pada ruangan gelap sehingga nyala api pertama dapat terlihat dengan jelas. SNI 2433:2011 mengatur syarat minimum temperatur titik nyala untuk aspal penetrasi 60/70 adalah 232°C.

Titik nyala yang tinggi memungkinkan aspal untuk dipanaskan hingga suhu cukup tinggi. Kualitas dan mutu aspal akan berkurang apabila melewati batas titik nyala yang telah diuji karena minyak yang dikandung aspal dapat menguap sehingga aspal kurang kekekatannya. Titik nyala yang tinggi memberikan keamanan dan mengurangi bahaya pada pekerja karena aspal lama untuk terbakar (Soehartono, 2015).

2.1.1.4 Uji Daktilitas

Menurut SNI 2432:2011, pengujian daktilitas aspal bertujuan untuk mengetahui kekenyalan aspal. Kekenyalan aspal dapat dinyatakan dengan panjang pemuluran aspal yang dapat tercapai sebelum terputus. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengukur jarak terpanjang yang dapat terjadi dari penarikan bahan bitumen pada cetakan kuningan menggunakan mesin uji daktilitas pada suhu 25°C dengan kecepatan tarik mesin 50 mm/menit. Syarat minimum daktilitas aspal penetrasi 60/70 adalah 100 cm.

Aspal dengan nilai daktilitas kurang dari 100 cm berarti aspal termasuk getas. Aspal dapat dikatakan plastis apabila memiliki nilai daktilitas antara 100 cm hingga 200 cm. Aspal termasuk sangat plastis jika nilai daktilitas di atas 200 cm. Aspal dengan nilai daktilitas yang rendah akan mudah mengalami retak-retak dalam penggunaannya karena lapisan perkerasan mengalami perubahan suhu yang tinggi, sedangkan aspal dengan daktilitas yang lebih tinggi dapat mengikat butir-butir agregat dengan lebih baik, tetapi lebih peka terhadap perubahan temperatur (Soehartono, 2015).

2.1.1.5 Uji Kehilangan Berat

Kehilangan berat aspal adalah selisih berat sebelum dan sesudah pemanasan pada suhu 163°C selama kurang lebih 5 jam. Pengujian kehilangan berat aspal bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak kehilangan minyak pada aspal akibat pemanasan berulang yang nantinya dari nilai tersebut dapat diketahui perubahan kinerja pada aspal. Batasan maksimum kehilangan berat aspal yang telah diatur dalam SNI 06-2441-1991 adalah 0,8%.

Besarnya nilai kehilangan berat aspal menunjukkan bahwa aspal tersebut peka terhadap cuaca dan suhu sehingga aspal menjadi kering dan sulit dikerjakan karena getas, sedangkan nilai kehilangan berat yang kecil berarti kandungan minyak pada aspal tidak banyak hilang meskipun mengalami pemanasan yang berulang sehingga aspal memiliki kelekatan yang bagus (Soehartono, 2015).

2.1.1.6 Uji Berat Jenis

Berat jenis aspal yaitu perbandingan antara berat jenis aspal padat dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu 25°C. Pemeriksaan berat jenis aspal bertujuan untuk mengetahui berat jenis aspal keras yang gunanya sangat penting karena merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam mendesain perencanaan campuran aspal dan agregat. SNI 2441:2011 mensyaratkan batas minimum berat jenis aspal adalah 1,0 gram/cc.

Berat jenis yang terlalu rendah dikhawatirkan berat jenis tersebut kekurangan kandungan *asphaltene* dan terlalu banyak minyak ringan yang mudah menguap dan kehilangan daya lengketnya (Soehartono, 2015).

2.2. Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*)

Laston adalah lapisan perkerasan jalan raya, secara umum telah digunakan dan direncanakan secara luas di berbagai negara untuk memperoleh kepadatan yang tinggi, nilai struktural tinggi, dan kadar aspal yang rendah. Hal ini mengarah menjadi suatu bahan yang relatif kaku, konsekuensi ketahanan menjadi rendah, dan keawetan yang terjadi rendah pula. Lapis aspal beton (Laston) secara umum terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus (*well graded*), dicampur, dihamparkan, dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Setiap lapisan pada aspal ini memiliki tebal minimum dan ukuran maksimum agregat yang disyaratkan berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga revisi III tahun 2010 (Suhardi, Pratomo, & Ali, 2016).

Menurut Silvia Sukirman (2003), lapis aspal beton (Laston) digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas berat, laston juga dikenal dengan nama *Asphalt Concrete* (AC). Ada tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh aspal beton sebagai berikut:

1. Tahan terhadap tekanan (*stability*)

Stability adalah kemampuan dari suatu perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan. Jalan yang melayani volume lalu lintas yang tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat membutuhkan suatu perkerasan jalan dengan stabilitas yang tinggi. Faktor yang dapat mempengaruhi nilai stabilitas aspal beton adalah gesekan internal dan kohesi.

2. Keawetan (*durability*)

Durability adalah kemampuan aspal beton menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Durabilitas aspal beton dipengaruhi oleh tebalnya selimut aspal dan banyaknya pori pada campuran. Semakin tebal selimut aspal akan mengakibatkan mudah terjadi *bleeding* yang akan menyebabkan jalan semakin licin.

3. Kelenturan (*flexibility*)

Flexibility adalah kemampuan dari aspal beton untuk menyesuaikan diri akibat penurunan dan pergerakan dari pondasi atau tanah dasar tanpa terjadi retak. Penurunan terjadi akibat repetisi beban lalu lintas, ataupun akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli. Fleksibilitas dapat ditingkatkan dengan menggunakan agregat yang bergradasi terbuka dengan kadar aspal yang tinggi.

4. Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*)

Fatigue resistance adalah suatu kemampuan dari aspal beton untuk menerima lendutan berulang akibat repetisi beban tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak.

5. Kekesatan atau tahanan geser (*skid resistance*)

Skid resistance adalah kemampuan permukaan aspal beton terutama pada kondisi basah memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga roda kendaraan tidak tergelincir (*slip*). Selain itu agregat yang digunakan tidak saja harus mempunyai permukaan yang kasar, tetapi juga harus mempunyai daya tahan agar permukaan aspal beton tidak mudah menjadi licin akibat repetisi kendaraan.

6. Kedap air (*permeability*)

Permeability adalah kemampuan aspal beton untuk tidak dapat dimasuki oleh air ataupun udara ke dalam lapisan aspal beton. Air dan udara dapat menyebabkan terjadinya percepatan proses penuaan aspal dan pengelupasan selimut aspal dari permukaan agregat.

7. Mudah dilaksanakan (*workability*)

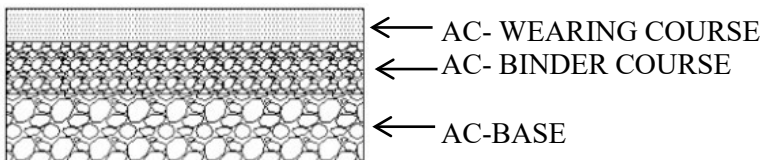
Workability adalah kemampuan campuran aspal beton untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Faktor yang mempengaruhi adalah viskositas aspal, kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur, dan gradasi serta kondisi agregat.

Berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga revisi III tahun 2010. Persyaratan yang harus dipenuhi oleh campuran aspal beton dapat dilihat pada tabel 2.2 dan struktur perkerasan lapisan aspal beton dapat dilihat pada gambar 2.1

Tabel 2.2 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC)

Sifat - Sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112 ⁽¹⁾
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.	1,0		
	Maks.	1,4		
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3,0		
	Maks.	5,0		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800		1800 ⁽¹⁾
Pelelehan (mm)	Min.	2		3
	Maks.	4		6
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min.	90		
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal)	Min.	2		

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum. Direktorat Jenderal Binar Marga. Tabel 6.3.3.(1c). Spesifikasi Umum 2010 (Revisi III)

**Gambar 2.1** Struktur Perkerasan Lapisan Aspal Beton

Sumber: kitasipil.com

Berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga revisi III tahun 2010. Persyaratan yang harus dipenuhi oleh campuran aspal beton yang dimodifikasi dapat dilihat pada tabel 2.3 berikut

Tabel 2.3 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston yang Dimodifikasi (*AC-Mod*)

Sifat - Sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112 ⁽¹⁾
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.	1,0		
	Maks.	1,4		
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3,0		
	Maks.	5,0		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	1000		2250 ⁽¹⁾
Pelelehan (mm)	Min.	2		3
	Maks.	4		6
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min.	90		
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal)	Min.	2		
Stabilitas Dinamis, lintasan/mm	Min.	2500		

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum. Direktorat Jenderal Bina Marga. Tabel 6.3.3.(1d). Spesifikasi Umum 2010 (Revisi III)

Berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga revisi III tahun 2010, Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) merupakan perkerasan yang terletak di bawah lapis pengikat dan lapis antara. Perkerasan ini tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi perlu memiliki stabilitas untuk menahan beban lalu lintas yang disebarkan melalui roda kendaraan. Perbedaan dengan lapisan aspal beton yang lain terletak pada jenis gradasi agregat dan kadar aspal yang digunakan. Lapisan ini mempunyai fungsi memberi dukungan lapis permukaan, mengurangi regangan dan tegangan, dan menyebarkan serta meneruskan beban konstruksi jalan di bawahnya (*sub grade*). Tebal minimum untuk lapis pondasi 7,5 cm dan ukuran maksimum agregat 37,5 mm.

2.2.1 Parameter Marshall

Parameter Marshall berguna untuk mengetahui apakah aspal beton memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2010. Parameter Marshall dilakukan melalui uji volumetrik yang terdiri dari nilai kepadatan, rongga dalam campuran, rongga dalam mineral agregat, dan rongga terisi aspal, sedangkan uji marshall meliputi stabilitas, pelelehan, dan *marshall quotient*.

2.2.1.1 Kepadatan (*Density*)

Kepadatan (*density*) adalah tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan atau bisa dibidang berat campuran pada setiap satuan volume. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi nilai kepadatan yaitu kadar aspal, gradasi agregat, berat jenis agregat, dan proses pemadatan yang meliputi suhu dan jumlah tumbukan. Campuran yang mempunyai nilai kepadatan baik mampu menahan beban yang lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang memiliki kepadatan rendah (Sukirman S. , 2003).

Kepadatan dapat ditentukan dengan formula sebagai berikut:

$$\text{Kepadatan} = \left(\frac{W_b + W_s}{V_{mb}} \right) \times \gamma_w \quad (2.1)$$

Keterangan:

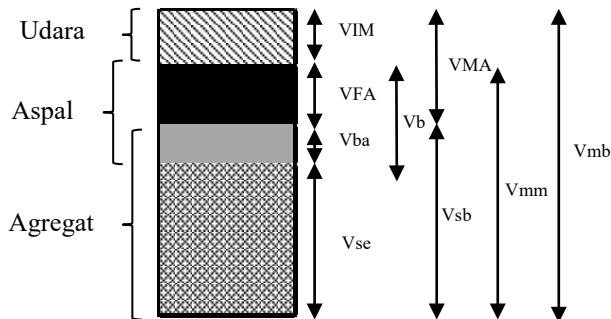
W_b	= Berat aspal	(gr)
W_s	= Berat agregat	(gr)
V_{mb}	= Volume contoh padat	(cm^3)
γ_w	= Berat jenis air	($1,0 \text{ gr/cm}^3$)

Nilai kadar aspal naik maka kepadatan ikut naik sampai mencapai puncak kemudian akan turun. Puncak kemampuan biasanya bersamaan dengan kadar aspal optimum dan stabilitas puncak. Kemampuan yang didapat selama pemadatan di laboratorium tidak begitu penting. Hal yang utama adalah kedekatan antara kemampuan yang diperoleh di laboratorium dengan kemampuan yang diperoleh di lapangan setelah beberapa tahun dibebani oleh lalu lintas. Kemampuan yang tinggi akan menghasilkan kemampuan untuk menahan beban yang tinggi pula serta kedekatan terhadap air dan udara yang tinggi (Roberts, 1991).

Nilai kepadatan campuran aspal beton tanpa penambahan plastik lebih tinggi daripada campuran yang menggunakan bahan tambah plastik. Hal ini disebabkan ketika dicampur dengan agregat panas pada suhu pencampuran 170°C , plastik yang ditambahkan melengkung, tetapi tidak mencair. Saat ditambahkan aspal, plastik masih berupa serat-serat halus. Plastik ikut terselimuti aspal dan mengurangi kadar aspal yang seharusnya mengisi rongga dalam campuran. Jika dilihat dari penambahan kadar aspal, nilai *density* semakin meningkat. Hal ini disebabkan aspal bebas dalam campuran bertambah, sehingga rongga antar agregat yang dapat terisi aspal semakin bertambah dan mengakibatkan campuran menjadi lebih pampat (Purnamasari & Suryaman, 2010).

2.2.1.2 Rongga dalam Campuran (VIM)

Void in mix (VIM) adalah volume pori yang masih tersisa setelah campuran aspal beton dipadatkan. VIM dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas atau tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur. VIM yang terlalu besar akan menyebabkan aspal beton berkurang kekedapan airnya, sehingga berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang mempercepat penuaan aspal dan akan menurunkan sifat durabilitas aspal beton. Namun, jika VIM terlalu kecil akan mengakibatkan terjadinya *bleeding* jika temperatur meningkat (Sukirman S. , 2003). Ilustrasi visual VIM dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Ilustrasi Visual VIM, VMA, dan VFA

Sumber: Silvia Sukirman, 2003

Semakin naik kadar aspal, nilai VIM akan semakin menurun karena rongga antar agregat akan semakin terisi oleh aspal. Campuran dengan penambahan plastik menunjukkan peningkatan nilai VIM. Semakin tinggi kadar plastik semakin tinggi pula nilai VIM. Hal ini disebabkan kadar plastik yang ditambahkan menghalangi aspal mengisi rongga dalam campuran. Semakin banyak plastik yang digunakan, rongga yang terbentuk semakin besar (Purnamasari & Suryaman, 2010).

Nilai VIM berubah seiring dengan perubahan suhu pemadatan. Semakin tinggi suhu pemadatan maka nilai VIM akan semakin menurun atau kecil. Hal ini dikarenakan pada suhu pemadatan rendah aspal sulit menyelimuti agregat sehingga campuran aspal dan agregat tidak dapat homogen (Budi Raharjo dkk., 2016)

2.2.1.3 Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)

Void in mineral aggregate (VMA) dinyatakan sebagai persen dari total volume rongga dalam benda uji. Merupakan volume rongga dalam campuran yang tidak terisi agregat dan aspal yang terserap agregat. VMA dihitung berdasarkan berat jenis agregat curah dan dinyatakan dalam persentase dari volume curah campuran padat. Batas minimum VMA tergantung pada ukuran maksimum agregat yang digunakan (Sukirman S. , 2003). Ilustrasi visual VMA dapat dilihat pada gambar 2.2.

Nilai VMA yang tinggi pada suhu rendah dikarenakan aspal beton tidak mengalami pemadatan yang optimal. Pemadatan yang tidak optimal menyebabkan aspal tidak dapat mengisi rongga secara optimal. Akibatnya, kurangnya lekatan antar butir agregat yang menjadikan butiran agregat lepas dan campuran menjadi retak (Budi Raharjo dkk., 2016).

Nilai VMA campuran aspal beton dengan penambahan plastik lebih tinggi daripada campuran yang tidak menggunakan bahan tambah plastik. Hal ini disebabkan plastik yang ditambahkan menghalangi kadar aspal yang seharusnya mengisi rongga dalam campuran. Semakin banyak rongga yang tidak terisi oleh aspal mengakibatkan pori-pori dalam campuran semakin banyak, Rongga yang banyak mengakibatkan butiran antar agregat menjadi tidak lekat dan mudah lepas (Derina Septia, 2018).

2.2.1.4 Rongga Terisi Aspal (VFA)

Rongga terisi aspal merupakan bagian dari rongga yang berada di antara mineral agregat (VMA) yang terisi oleh aspal efektif, dinyatakan dalam persen. Kriteria VFA bertujuan menjaga keawetan campuran beraspal dengan memberi batasan yang cukup. Pada gradasi yang sama, semakin tinggi nilai VFA makin makin banyak kadar aspal campuran tersebut. Kriteria VFA menyediakan tambahan faktor keamanan dalam merencanakan dan melaksanakan campuran beraspal panas (Suryana dkk., 2004). Ilustrasi visual VFA dapat dilihat pada gambar 2.2.

Nilai VFA campuran aspal beton tanpa penambahan plastik lebih tinggi daripada campuran yang menggunakan bahan tambah plastik. Hal ini disebabkan plastik yang ditambahkan menghalangi kadar aspal yang seharusnya mengisi rongga dalam campuran. Semakin banyak rongga yang tidak terisi oleh aspal mengakibatkan pori-pori dalam campuran semakin banyak yang mengakibatkan aspal beton menjadi porus (Purnamasari & Suryaman, 2010).

Nilai VFA mengalami peningkatan semakin tingginya suhu pemadatan dikarenakan pada suhu pemadatan yang rendah aspal beton memiliki pori-pori dalam jumlah banyak atau biasa disebut porus yang menyebabkan kemampuan menyerap air dan oksigennya terlalu tinggi dan terjadi oksidasi (Budi Raharjo dkk., 2016).

2.2.1.5 Stabilitas

Stabilitas benda uji adalah daya tahan beban maksimum benda uji pada temperatur 60°C (140°F). Untuk mendapat stabilitas yang tinggi diperlukan agregat bergradasi baik, rapat, dan mempunyai rongga antar butiran agregat (VMA) yang kecil. Menurut Sukirman (1999), stabilitas juga merupakan kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, kebutuhan akan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi.

Menurut Purnamasari dan Suryaman (2010), menyatakan bahwa seiring penambahan kadar plastik, nilai stabilitas cenderung naik pada kadar aspal 5-6%. Hal ini disebabkan plastik yang ditambahkan berbentuk serat bersudut dan agregat yang terselimuti aspal saling mengunci dengan baik. Posisi agregat tidak mudah bergeser dari tempatnya ketika diberi beban, sehingga stabilitasnya meningkat.

2.2.1.6 Pelelehan (*Flow*)

Menurut Departemen Pekerjaan Umum (1987), *flow* adalah besarnya perubahan bentuk plastis suatu benda uji campuran beraspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas keruntuhan dan dinyatakan dalam satuan panjang.

Menurut Roberts (1991), *flow* dalam terminologi *Marshall test* adalah besarnya deformasi vertikal sampel yang terjadi mulai saat awal pembebanan sampai pada kondisi kestabilan mulai menurun. Nilai *flow* dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain kadar dan viskositas aspal, suhu, gradasi, dan jumlah pemadatan.

Nilai *flow* yang terlalu tinggi mengindikasikan campuran yang bersifat plastis dan lebih mampu mengikuti deformasi akibat beban, sedangkan *flow* yang terlalu rendah mengisyaratkan campuran tersebut memiliki rongga tak terisi aspal yang lebih tinggi dari kondisi normal, atau kandungan aspal yang terlalu rendah sehingga berpotensi retak dini dan durabilitas rendah (Purnamasari & Suryaman, 2010).

2.2.1.7 Marshall Quotient (MQ)

Menurut Bustaman (2000) menyatakan bahwa *marshall quotient* merupakan hasil bagi dari stabilitas terhadap keelehan yang digunakan untuk pendekatan terhadap tingkat kekakuan atau fleksibilitas campuran. Nilai *marshall quotient* yang tinggi menunjukkan nilai kekakuan lapisan perkerasan yang tinggi. Lapisan perkerasan yang mempunyai nilai MQ terlalu tinggi akan mudah terjadi retak-retak akibat beban lalu lintas yang berulang-ulang. Sebaliknya nilai MQ yang terlalu rendah menunjukkan campuran terlalu fleksibel atau plastis yang mengakibatkan lapisan keras mudah berubah bentuk bila menahan beban lalu lintas.

Marshall quotient (MQ) yaitu hasil bagi stabilitas dan *flow*, yang digunakan sebagai indikator kelenturan yang potensial terhadap keretakan. Nilai MQ dinyatakan dalam kg/mm (Hardiyatmo, H.C., 2007). Nilai MQ didapat melalui formula sebagai berikut:

$$MQ = \frac{S}{f} \quad (2.2)$$

Keterangan:

MQ	=	<i>Marshall Quotient</i>	(kg/mm)
S	=	Nilai stabilitas	(kg)
<i>f</i>	=	Nilai keelehan/ <i>flow</i>	(mm)

2.3. *Polyethylene Terephthalate* (PET)

Polyethylene Terephthalate (PET) merupakan film yang lunak, transparan dan fleksibel, mempunyai kekuatan benturan serta kekuatan sobek yang baik. Secara sifat fisiknya bahan PET dapat didaur ulang dengan mudah. Proses pemanasan pada suhu 110°C terhadap plastik jenis ini akan menjadikan plastik jenis ini lunak dan mencair. Berdasarkan sifat permeabilitasnya yang rendah serta sifat-sifat mekaniknya yang baik, polietilen mampu memiliki ketebalan 0.001 sampai 0.01 inchi (Nurminah, 2002).

Sifat khas polimer sangat berubah oleh perubahan temperatur. Hal ini disebabkan apabila temperatur berubah, pergerakan molekul karena termal mengubah molekul atau merubah struktur, terutama struktur yang berdimensi besar (Purnamasari & Suryaman, 2010).

2.4. Suhu Pematatan

Suhu pematatan sangat berpengaruh pada tingkat kepadatan campuran aspal beton yang mempengaruhi karakteristik aspal beton. Proses pematatan yang menghasilkan tingkat kepadatan yang tidak memenuhi persyaratan akan menyebabkan menurunnya kualitas karakteristik aspal beton seperti stabilitas, durabilitas, fleksibilitas, tahan terhadap geser, tahan terhadap kelelahan, dan kedap air. Selain itu dapat mengakibatkan terjadinya deformasi plastis pada lapis perkerasan yang akan sangat mengganggu keamanan dan kenyamanan pengguna prasarana jalan karena mengakibatkan tergelincirnya kendaraan pada waktu hujan dan sulit dikemudikan dan jika terjadi retak memanjang yang diikuti infiltrasi ke lapis pondasi, dapat mempengaruhi kemampuan struktur perkerasan (Raharjo, Pratomo, & Ali, 2016).

Proses pemadatan campuran beraspal yang tidak dilakukan pada temperatur yang tepat akan mengakibatkan kepadatan (*density*) tidak tercapai. Untuk mendapatkan suhu optimum pemadatan pada campuran beraspal maka diperlukan uji laboratorium untuk mengetahui suhu optimum pemadatan dari campuran aspal beton yang dimodifikasi dengan bitumen limbah plastik. Suhu pemadatan di lapangan merupakan aplikasi dari hasil penelitian suhu pemadatan di laboratorium. Pada tabel 2.4 ditunjukkan suhu pemadatan yang digunakan pada proses pemadatan di lapangan.

Tabel 2.4 Suhu Pemadatan Campuran Aspal Panas di Lapangan

Sifat Campuran	Suhu Campuran Aspal Pen 60/70
	(°C)
Pemadatan Benda Uji	110-160

Sumber: Puslitbang Jalan dan Jembatan. 2006

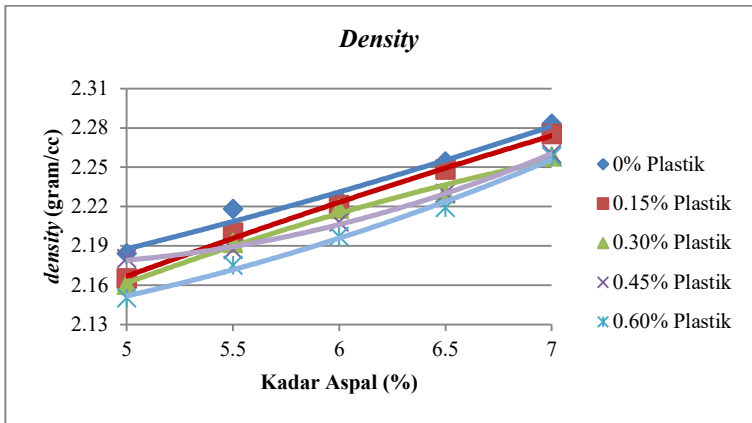
2.5. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu berguna sebagai tolak ukur data yang dihasilkan pada penelitian ini apakah dapat memperkuat penelitian sebelumnya atau membantah kesimpulan penelitian sebelumnya.

2.5.1 Pengaruh Penggunaan Limbah Botol Plastik sebagai Bahan Tambah terhadap Karakteristik Lapis Aspal Beton (Laston)

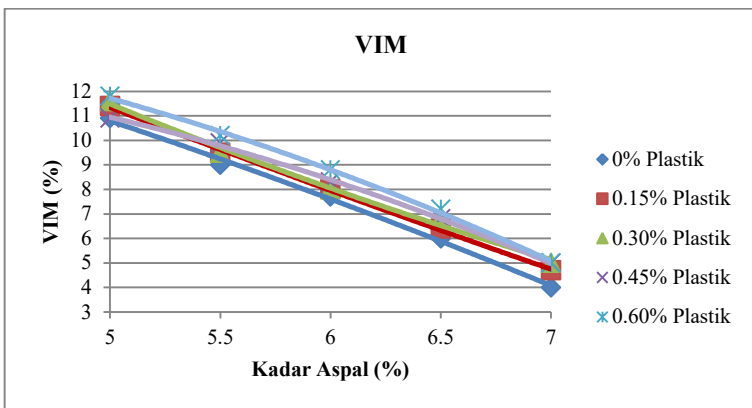
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Purnamasari dan Suryaman (2010), perkerasan lentur yang digunakan yaitu aspal beton (Laston). Dilakukan penelitian dengan variasi kadar aspal mulai dari 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5%, dan 7,0%. Pada setiap pembuatan benda uji aspal beton setiap variasi kadar aspal dilakukan variasi dengan penambahan plastik dengan kadar 0,15%, 0,30%, 0,45%, dan 0,60% yang selanjutnya dilakukan perbandingan dengan aspal beton tanpa penambahan plastik.

Hasil dari setiap grafik perhitungan marshall dapat dilihat pada gambar 2.3 hingga gambar 2.8



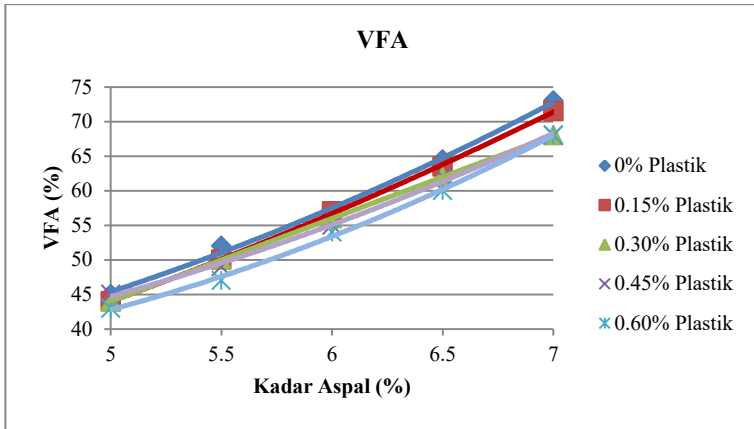
Gambar 2.3 Grafik Hubungan *Density* terhadap Penambahan Kadar Aspal dan Plastik

Sumber: Purnamasari & Suryaman. 2010



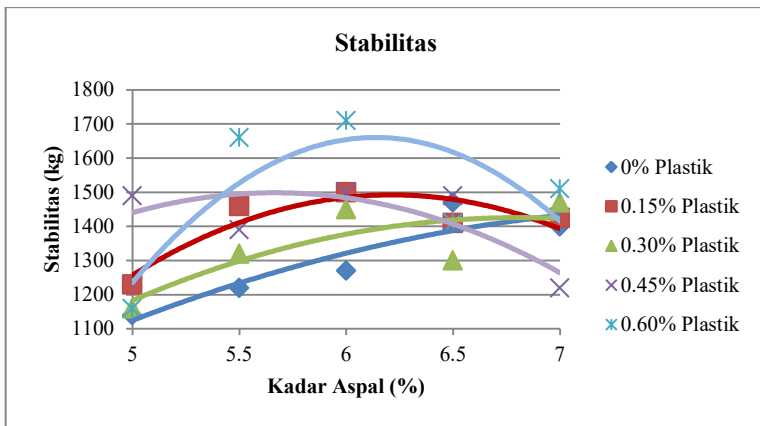
Gambar 2.4 Grafik Hubungan VIM terhadap Penambahan Kadar Aspal dan Plastik

Sumber: Purnamasari & Suryaman. 2010



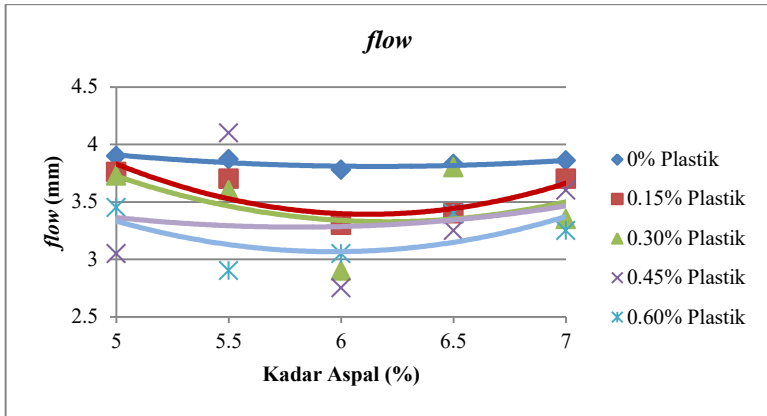
Gambar 2.5 Grafik Hubungan VFA terhadap Penambahan Kadar Aspal dan Plastik

Sumber: Purnamasari & Suryaman. 2010



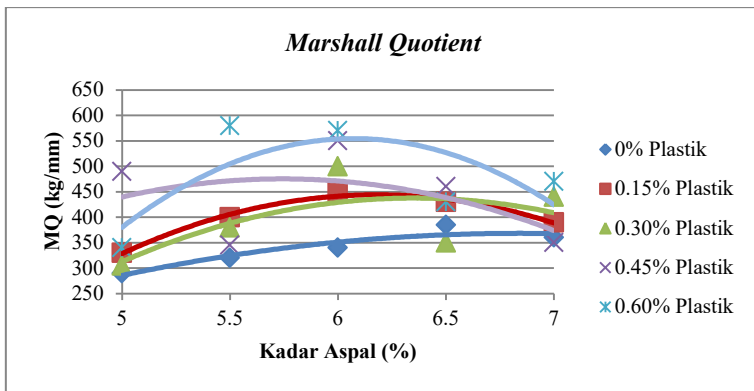
Gambar 2.6 Grafik Hubungan Stabilitas terhadap Penambahan Kadar Aspal dan Plastik

Sumber: Purnamasari & Suryaman. 2010



Gambar 2.7 Grafik Hubungan *Flow* terhadap Penambahan Kadar Aspal dan Plastik

Sumber: Purnamasari & Suryaman. 2010



Gambar 2.8 Grafik Hubungan *Marshall Quotient* terhadap Penambahan Kadar Aspal dan Plastik

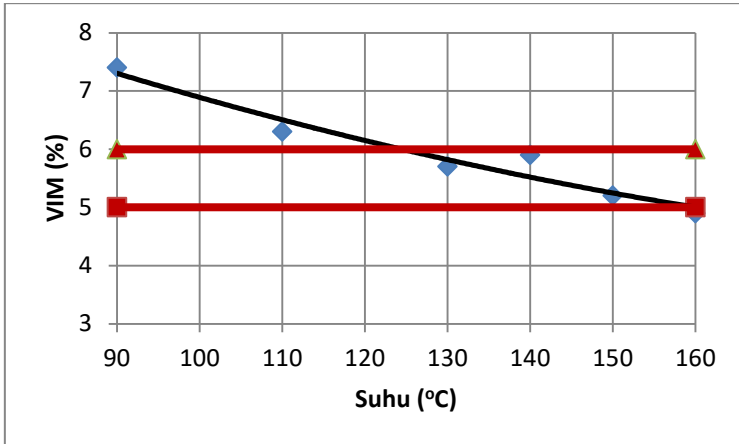
Sumber: Purnamasari & Suryaman. 2010

Kesimpulan yang didapat yaitu nilai *density* pada aspal beton tanpa penambahan plastik lebih tinggi dibanding menggunakan plastik. Nilai VIM lebih tinggi aspal beton dengan penambahan plastik. Nilai VFA untuk aspal beton tanpa plastik lebih tinggi daripada aspal beton dengan penambahan plastik. Stabilitas yang diperoleh menunjukkan aspal beton dengan penambahan plastik memiliki nilai yang lebih tinggi. Kelelehan (*flow*) pada aspal beton dengan penambahan plastik lebih rendah dibanding aspal beton tanpa plastik. Nilai MQ lebih tinggi untuk aspal beton dengan penambahan plastik.

2.5.2 Kajian Suhu Optimum pada Proses Pematatan untuk Campuran Beraspal dengan Menggunakan Modifikasi Bitumen Limbah Plastik

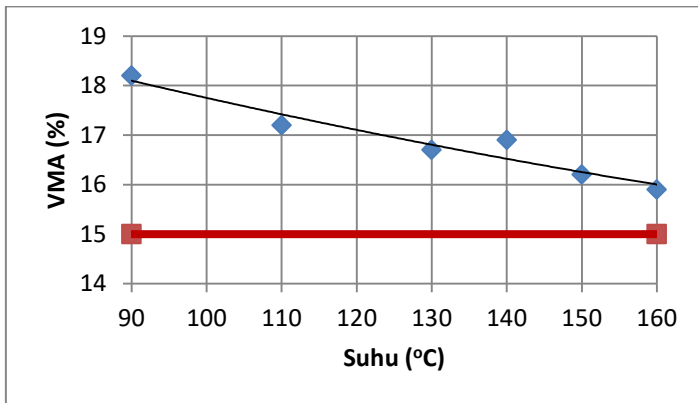
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Imam Aschuri dan Rizal Rahman (2011), dilakukan penelitian untuk mengetahui perbandingan suhu optimum pematatan aspal beton lapis aus (*AC-WC*) dengan dan tanpa penambahan plastik tipe HDPE 1% dari berat aspal. Variasi suhu pematatan dilakukan pada suhu 90⁰C, 110⁰C, 130⁰C, 140⁰C, 150⁰C, dan 160⁰C.

Berikut merupakan hasil pengujian marshall pada campuran aspal beton yang menggunakan aspal konvensional pada penelitian ini yang ditunjukkan oleh gambar 2.9 hingga gambar 2.13



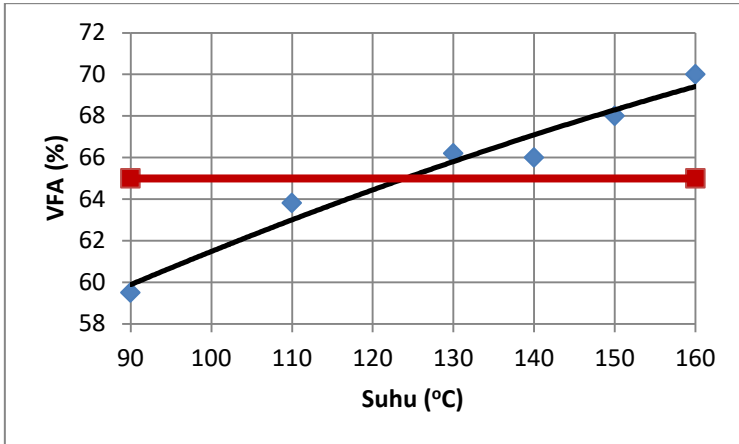
Gambar 2.9 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap VIM

Sumber: Imam Aschuri & Rizal Rahman. 2011

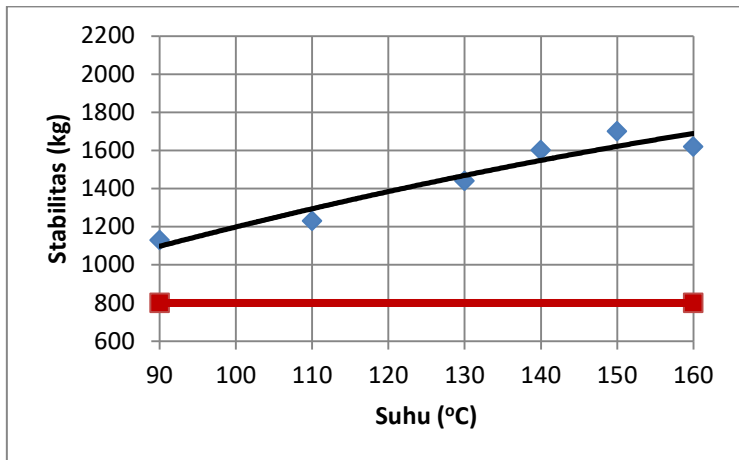


Gambar 2.3 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap VMA

Sumber: Imam Aschuri & Rizal Rahman. 2011

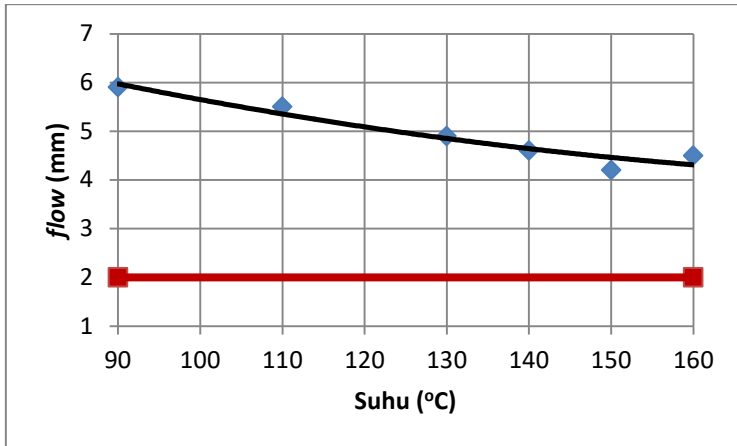


Gambar 2.4 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap VFA
Sumber: Imam Aschuri & Rizal Rahman. 2011



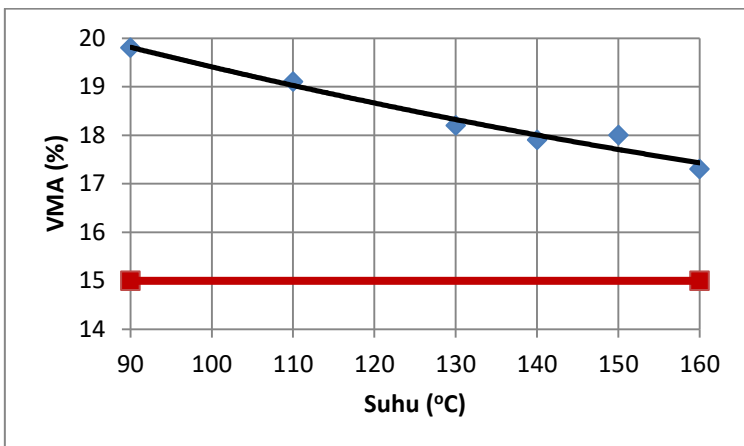
Gambar 2.5 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap Stabilitas

Sumber: Imam Aschuri & Rizal Rahman. 2011

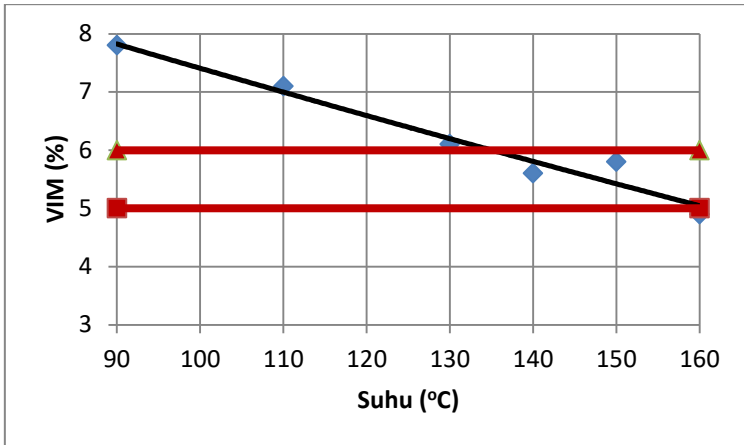


Gambar 2.6 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap *Flow*
Sumber: Imam Aschuri & Rizal Rahman. 2011

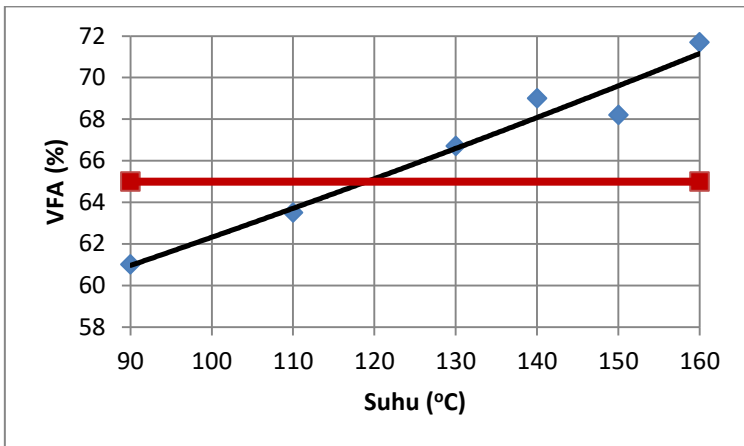
Berikut merupakan hasil pengujian marshall pada campuran aspal beton yang menggunakan aspal modifikasi pada penelitian ini yang ditunjukkan oleh gambar 2.14 hingga gambar 2.18



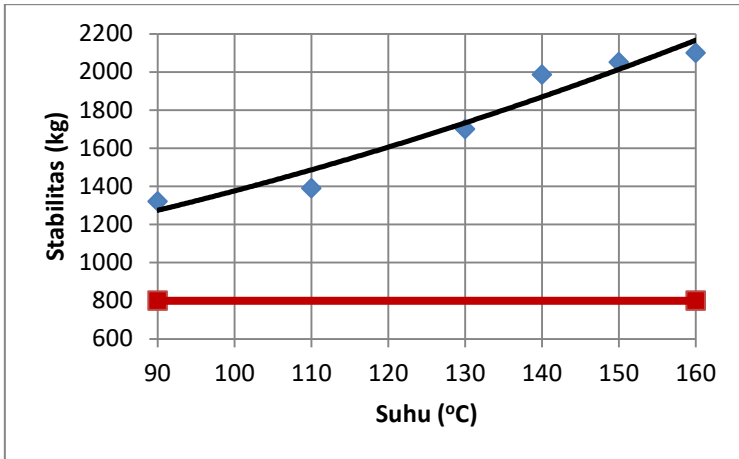
Gambar 2.7 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap VIM
Sumber: Imam Aschuri & Rizal Rahman. 2011



Gambar 2.8 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap VMA
Sumber: Imam Aschuri & Rizal Rahman. 2011

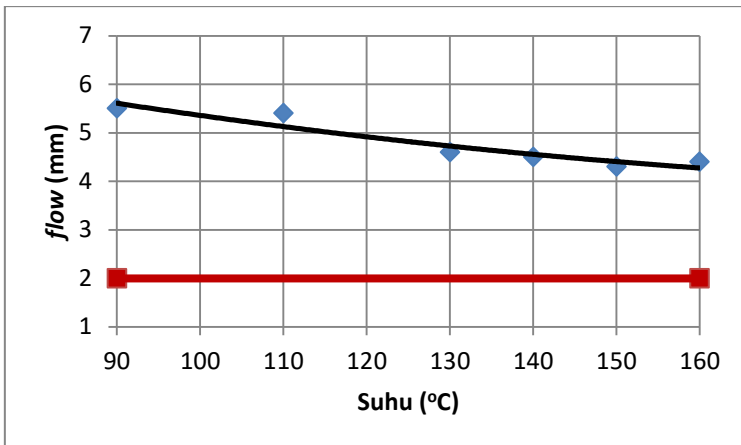


Gambar 2.9 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap VFA
Sumber: Imam Aschuri & Rizal Rahman. 2011



Gambar 2.10 Grafik Hubungan Suhu Pemasatan terhadap Stabilitas

Sumber: Imam Aschuri & Rizal Rahman. 2011



Gambar 2.18 Grafik Hubungan Suhu Pemasatan terhadap Flow

Sumber: Imam Aschuri & Rizal Rahman. 2011

Hasil yang didapat pada penelitian tersebut adalah nilai VMA pada aspal dengan penambahan plastik HDPE maupun aspal murni semakin menurun dengan bertambahnya suhu pemadatan dalam campuran. Nilai VIM pada kedua jenis campuran semakin menurun dengan bertambahnya suhu pemadatan. Nilai VFA meningkat pada kedua jenis campuran meningkat dengan bertambahnya suhu pemadatan. Nilai stabilitas pada campuran aspal modifikasi maupun aspal murni cenderung meningkat dengan bertambahnya suhu pemadatan. Nilai *flow* (kelelahan) pada aspal modifikasi maupun aspal murni menurun dengan bertambahnya suhu pemadatan. Hasil pengujian Marshall didapat suhu optimum untuk campuran beraspal konvensional adalah sebesar 143°C sedangkan campuran beraspal yang menggunakan aspal dengan penambahan HDPE nilai suhu optimum sebesar 148°C.

Kesimpulan yang didapat dengan membandingkan hasil uji volumetrik dan marshall antara aspal konvensional dan aspal modifikasi adalah nilai VMA pada aspal modifikasi lebih besar dibandingkan aspal murni, hal ini dimungkinkan terlalu banyak plastik yang terdapat pada aspal sehingga rongga campuran menjadi lebih besar. Nilai VIM pada campuran aspal modifikasi lebih besar dari pada campuran aspal murni. Besarnya pori udara yang terdapat pada campuran aspal modifikasi dipengaruhi oleh homogen yang kurang baik mengisi rongga agregat. Nilai VFA pada campuran modifikasi lebih besar daripada aspal tanpa modifikasi. Besarnya nilai VFA pada campuran modifikasi dipengaruhi jumlah kadar aspal yang lebih banyak ditambah homogen, sehingga aspal yang dimodifikasi lebih banyak yang dapat mengisi pori agregat campuran. Nilai stabilitas pada campuran aspal modifikasi cenderung lebih besar dibandingkan dengan aspal murni, hal ini dikarenakan campuran beton aspal dengan menggunakan plastik mempunyai nilai kadar aspal yang lebih besar sehingga nilai stabilitasnya menjadi lebih besar dibandingkan campuran aspal murni.

2.5.3 Pengaruh Suhu Pematatan Campuran untuk Perkerasan Lapis Antara (*AC-BC*)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Budi Raharjo, Priyo Pratomo, dan Hadi Ali (2016), dilakukan penelitian yang bertujuan menunjukkan pengaruh suhu pematatan pada aspal beton. Lapisan aspal beton yang digunakan adalah *AC-BC*. Percobaan dilakukan dengan melakukan analisa saringan yang kemudian dijadikan acuan untuk proporsi campuran aspal beton dengan kadar aspal rencana yang digunakan adalah 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%. Berikut adalah proporsi campuran aspal beton lapis antara yang dijelaskan pada tabel 2.5

Tabel 2.5 Proporsi Campuran Aspal Beton Lapis Antara (*AC-BC*)

Saringan	%	%	Kadar Aspal (%)				
	Lolos	Tertahan	4.5	5	5.5	6	6.5
25	100	0	0	0	0	0	0
19	95	5	60.0	59.0	58.0	57.0	57.0
12.5	82	13	155.0	153.0	151.1	149.2	147.3
9.5	73	9	107.3	104.9	104.6	103.3	102.0
4.75	55.5	17.5	208.6	206.0	203.4	200.8	198.3
2.36	41.8	13.7	163.3	161.3	159.2	157.2	155.2
1.18	33.15	8.65	103.1	101.8	100.5	99.3	98.0
0.6	24.35	8.8	104.9	103.6	102.3	101.0	99.7
0.3	16.85	7.5	89.4	88.3	87.2	86.1	85.0
0.15	8.5	8.35	99.5	98.3	97.0	95.8	94.6
0.075	6	2.5	29.8	29.4	29.1	28.7	28.3
Pan	0	6	71.5	70.6	69.7	68.9	68.0
Berat Total Agregat (gram)			1192.2	1177.1	1162.2	1147.6	1133.2
Berat Aspal (gram)			56.2	62.0	67.6	73.2	78.8
Berat Total Benda Uji (gram)			1248.3	1239.0	1229.9	1220.8	1211.9
BJ Teori Max			2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

Sumber: Budi Raharjo, dkk. 2016

Selanjutnya dilakukan pembuatan 3 benda uji untuk masing–masing kadar aspal rencana berdasarkan proporsi campuran yang telah dihitung sebelumnya, kemudian dilakukan pemadatan pada masing–masing benda uji dengan menggunakan *compactor*. Pada tahap selanjutnya dilakukan pengujian terhadap benda uji yaitu uji Marshall yang hasilnya berupa karakteristik–karakteristik Marshall. Berikut adalah data hasil percobaan yang telah dilakukan perhitungannya dijelaskan pada tabel 2.6

Tabel 2.6 Hasil Pengujian Sampel pada Batas Tengah

Batas Tengah						
Kadar Aspal	VMA	VIM	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
%	%	%	%	kg	mm	kg/mm
4.50	15.7	7.79	50.38	712.76	2.93	242.991
5.00	15.47	6.35	58.94	787.72	3.27	241.503
5.50	15.92	5.66	64.45	830.21	3.27	254.232
6.00	15.94	4.71	70.42	937.08	3.5	268.155
6.50	16.79	4.24	74.73	1108.35	4.03	275.303

Sumber: Budi Raharjo, dkk. 2016

Berdasarkan tabel 2.6 didapat hasil penelitian untuk mencari nilai kadar optimal untuk batas tengah yaitu 6,1%. Nilai tersebut di dapat dengan menggunakan metode diagram pita (*bar chart*) dari hubungan grafik stabilitas, VIM, VMA, VFA, *flow*, dan MQ. Dengan cara mengambil nilai minimum dan nilai maksimum pada batas tengah yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010. Kemudian ditarik garis kebawah sehingga didapat nilai minimum dan maksimum. Nilai tersebut dirata-ratakan atau diambil nilai tengah sehingga di dapatkan nilai kadar aspal optimum. Selanjutnya dilakukan penelitian dengan variasi suhu pemadatan pada gradasi batas tengah dengan mengacu pada spesifikasi Bina Marga 2010. Berikut ini adalah hasil dari pengujian yang telah dilakukan perhitungan dijelaskan pada tabel 2.7

Tabel 2.7 Hasil Pengujian Sampel Batas Tengah dengan Kadar Aspal Optimum 6,1%

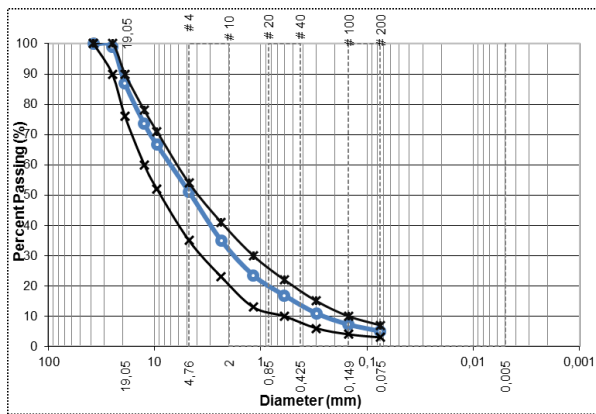
Variasi Suhu	VMA	VIM	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
°C	%	%	%	kg	mm	kg/mm
155	15.45	3.97	74.31	1203.912	3.40	354.092
	15.87	4.44	72.02	1199.693	3.70	324.241
	15.14	3.61	76.13	1186.120	4.30	275.842
Rata - rata	15.49	4.01	74.15	1196.575	3.80	318.058
145	16.02	4.61	71.21	1163.587	3.50	332.453
	15.74	4.29	72.73	1127.277	4.10	274.946
	15.34	3.84	74.97	1127.873	4.30	262.296
Rata - rata	15.70	4.25	72.97	1139.579	3.97	289.898
135	16.04	4.63	71.13	1082.250	3.80	284.822
	16.29	4.92	69.81	1088.250	4.50	241.833
	15.56	4.09	73.73	1115.702	4.40	253.569
Rata - rata	15.96	4.55	71.55	1095.425	4.23	260.075
125	16.90	5.61	66.80	999.198	4.10	243.707
	16.58	5.25	68.33	1015.989	4.40	230.906
	16.10	4.71	70.77	1055.603	4.80	219.917
Rata - rata	16.53	5.19	68.64	1023.597	4.43	231.510
115	16.99	5.71	66.38	917.914	3.80	241.556
	16.81	5.51	67.21	904.791	4.80	188.498
	16.48	5.13	68.85	992.669	4.90	202.585
Rata - rata	16.76	5.45	67.48	938.458	4.50	210.880

Sumber: Budi Raharjo, dkk. 2016

Berdasarkan dari tabel 2.6.2.3 diketahui hanya pada suhu 145°C dan 155°C yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010. Hal ini dikarenakan nilai VIM yang semakin meningkat, pada suhu pemadatan rendah aspal sulit menyelimuti agregat sehingga aspal dan agregat tidak dapat tercampur secara homogen.

2.5.4 Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Pondasi (*AC-Base*) terhadap Pengaruh Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET)

Berdasarkan penelitian terbaru yang dilakukan oleh Derina Septia Pertiwi (2018), dilakukan percobaan dengan proporsi campuran yang didapatkan melalui hasil gabungan (*combined aggregate*) 3 fraksi yaitu agregat kasar (10-10 mm), agregat sedang (5-10 mm), dan agregat halus (0-5 mm) yang ditunjukkan pada gambar 2.19



Gambar 2.19 Grafik Hasil Gabungan 3 Fraksi

Sumber: Derina Septia Pratiwi. 2018

Berdasarkan perhitungan proporsi campuran didapatkan persentase 35% untuk agregat kasar, 25% agregat sedang, dan 40% agregat halus yang dijadikan acuan untuk pembuatan benda uji. Persentase tersebut memenuhi spesifikasi untuk *AC-Base* yang ditunjukkan pada tabel 2.8

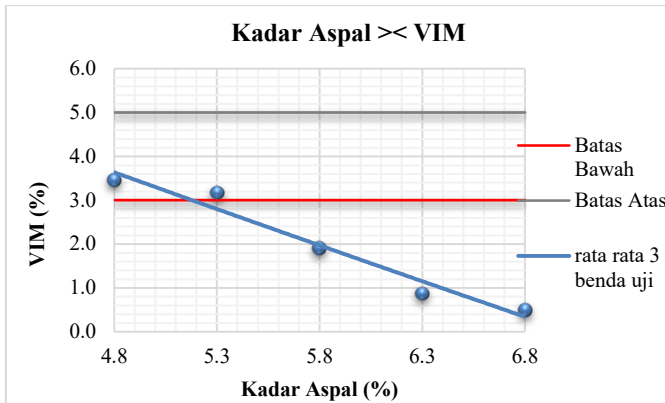
Tabel 2.8 Hasil Gabungan 3 Fraksi

No. Saringan	Agregat Kasar 10-10 mm		Agregat Sedang 5-10 mm		Abu Batu 0-5 mm		Hasil	Spesifikasi AC-Base
	%Lolos	35%	%Lolos	25%	%Lolos	40%		
1 1/2"	100	35	100	25	100	40	100	100
1"	97.1	34.0	100	25	100	40	99.0	90 - 100
3/4"	62.4	21.8	100	25	100	40	86.8	76 - 90
1/2"	24.5	8.6	100	25	100	40	73.6	60 - 78
3/8"	5.9	2.1	98.2	24.5	100	40	66.6	52 - 71
no. 4	0.6	0.2	43.6	10.9	100	40	51.1	35 - 54
no. 8	0	0	2.2	0.6	86.1	34.5	35.0	23 - 41
no. 16	0	0	0.4	0.1	58.6	23.4	23.6	13 - 30
no. 30	0	0	0	0	42.2	16.9	16.9	10 - 22
no. 50	0	0	0	0	27.4	11.0	11.0	6 - 15
no. 100	0	0	0	0	18.2	7.3	7.3	4 - 10
no. 200	0	0	0	0	12.6	5.0	5.0	3 - 7

Sumber: Derina Septia Pratiwi. 2018

Penentuan kadar aspal rencana mengacu pada peraturan Bina Marga 2010 dan diperoleh hasil yaitu 5,80%. Maka dari itu kadar aspal yang digunakan adalah 4,80%, 5,30%, 5,80%, 6,30%, dan 6,80%. Percobaan dilakukan dengan membuat 3 benda uji untuk masing-masing kadar aspal. Kemudian dilakukan uji Marshall dan didapatkan hasil yang digunakan untuk mendapatkan kadar aspal optimum (KAO).

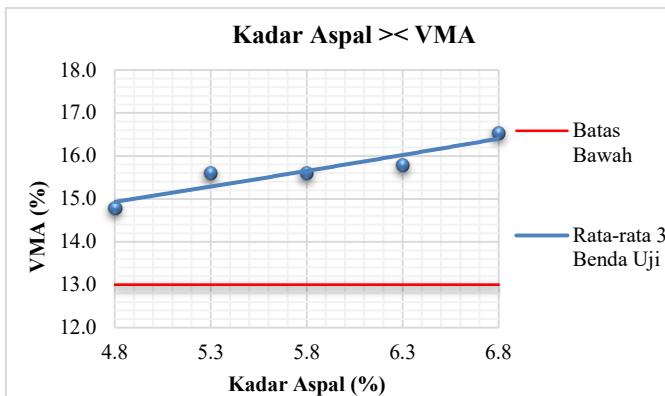
VIM untuk aspal beton lapis pondasi (*AC-Base*) memiliki batas bawah 3% dan batas atas 6%, hasil pengujian menunjukkan hanya benda uji dengan kadar aspal 4.8% sampai 5.3% yang memenuhi standar yang ditunjukkan pada gambar 2.20



Gambar 2.11 Grafik Hasil Uji VIM

Sumber: Derina Septia Pratiwi, 2018

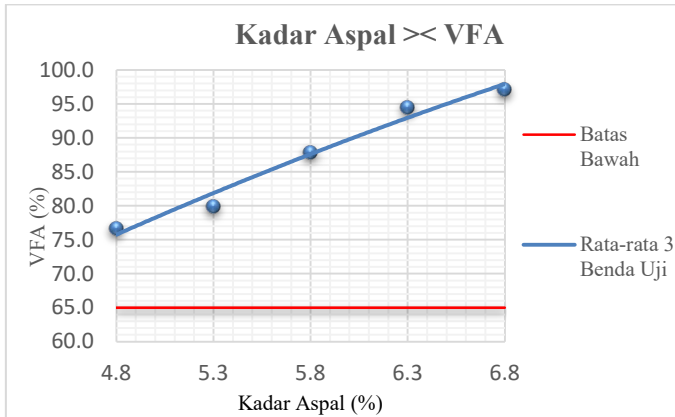
VMA untuk aspal beton lapis pondasi (*AC-Base*) memiliki batas bawah 13% dan semua kadar aspal benda uji memenuhi standar yang ditunjukkan pada gambar 2.21



Gambar 2.12 Grafik Hasil Uji VMA

Sumber: Derina Septia Pratiwi, 2018

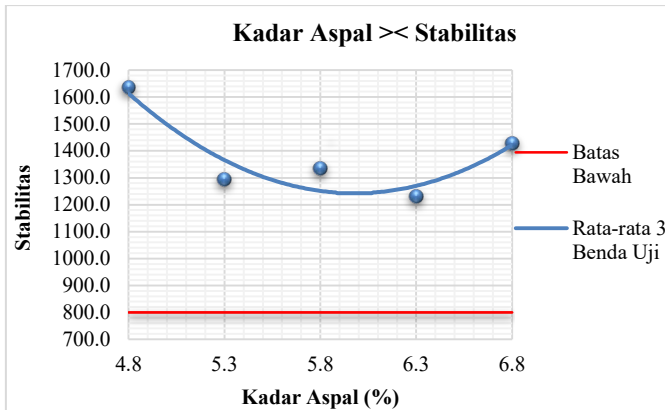
VFA untuk aspal beton lapis pondasi (*AC-Base*) memiliki batas bawah 65% dan semua kadar aspal benda uji memenuhi standar yang ditunjukkan pada gambar 2.22



Gambar 2.13 Grafik Hasil Uji VFA

Sumber: Derina Septia Pratiwi. 2018

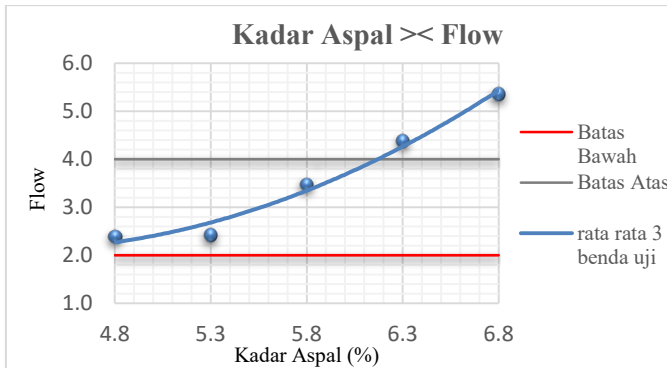
Stabilitas untuk aspal beton lapis pondasi (*AC-Base*) memiliki batas bawah 800 kg dan semua kadar aspal benda uji memenuhi standar yang ditunjukkan pada gambar 2.23



Gambar 2.14 Grafik Hasil Uji Stabilitas

Sumber: Derina Septia Pratiwi. 2018

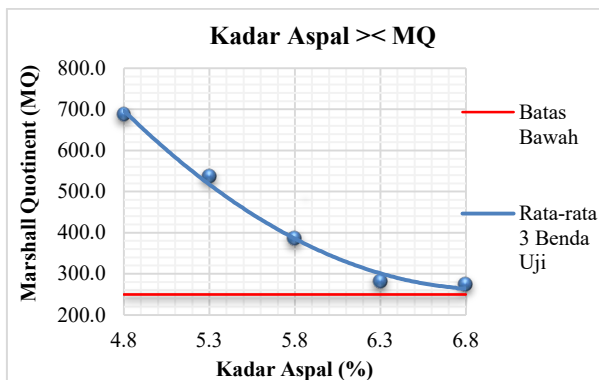
Flow untuk aspal beton lapis pondasi (*AC-Base*) memiliki batas bawah 3% dan batas atas 6%, hasil pengujian menunjukkan hanya benda uji dengan kadar aspal 4.8% sampai 6.2% yang memenuhi standar yang ditunjukkan pada gambar 2.24



Gambar 2.15 Grafik Hasil Uji *Flow*

Sumber: Derina Septia Pratiwi. 2018

Stabilitas untuk aspal beton lapis pondasi (*AC-Base*) memiliki batas bawah 250 kg/mm dan semua kadar aspal benda uji memenuhi standar yang ditunjukkan pada gambar 2.25



Gambar 2.16 Grafik Hasil Uji *Marshall Quotient*

Sumber: Derina Septia Pratiwi. 2018

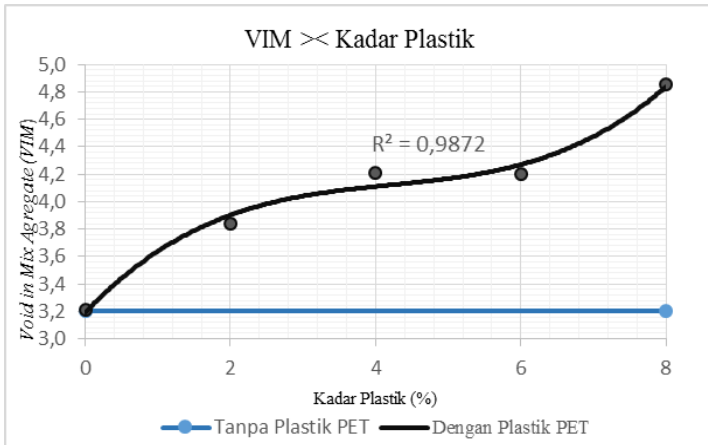
Berdasarkan hasil penentuan volumetrik campuran dan uji Marshall pada rata-rata 3 benda uji yang telah dilakukan pada tabel 2.9 di bawah, didapat nilai kadar aspal optimum sebesar 5,00 % dan nantinya sebagai dasar atau acuan untuk kadar aspal yang digunakan pada aspal plastik.

Tabel 2.9 Penentuan Nilai Kadar Aspal Optimum

PENGUJIAN	SYARAT	KADAR ASPAL				
		4.80%	5.30%	5.80%	6.30%	6.80%
STABILITAS	> 800					
FLOW	2-4 mm					
VIM	3% - 5%					
VMA	> 14%					
VFA	> 65 %					
MQ	> 250 kg/mm					
KADAR ASPAL OPTIMUM		5,00%				

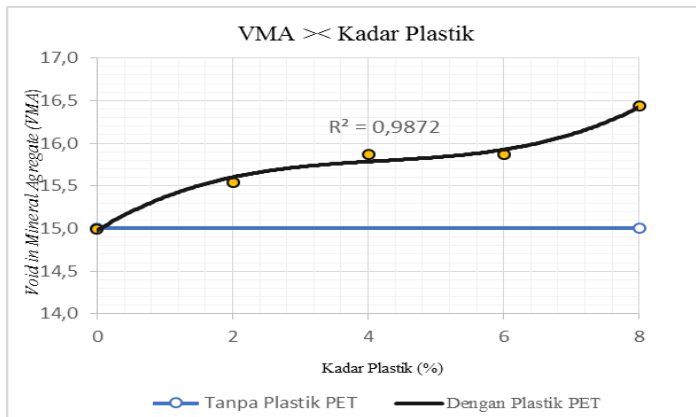
Sumber: Derina Septia Pratiwi. 2018

Kadar aspal optimum 5,00% tersebut dijadikan acuan penelitian selanjutnya dengan penambahan plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) terhadap berat aspal. Kadar plastik yang digunakan adalah 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% dari berat aspal dengan masing-masing 3 benda uji untuk tiap kadar plastik. Berikut hasil perbandingan aspal beton lapis pondasi (*AC-Base*) dengan aspal konvensional penetrasi 60/70 KAO 5,00% tanpa penambahan plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) dengan aspal konvensional KAO 5,00% dengan penambahan plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) setelah dilakukan uji Marshall. Data yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 2.26 hingga gambar 2.31 sebagai berikut:



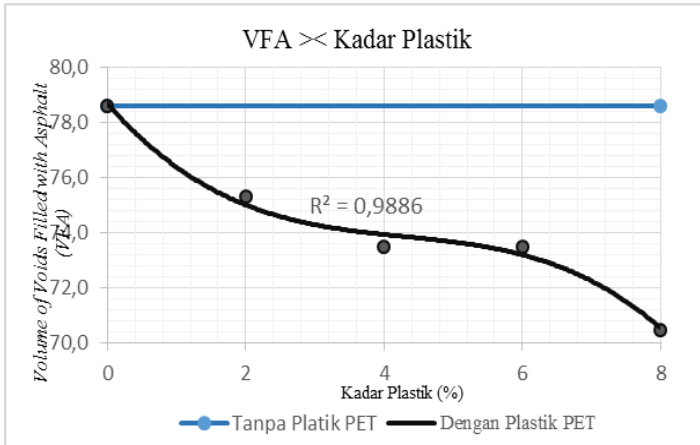
Gambar 2.17 Grafik Hasil Benda Uji pada Parameter VIM tanpa dan dengan PET

Sumber: Derina Septia Pratiwi. 2018



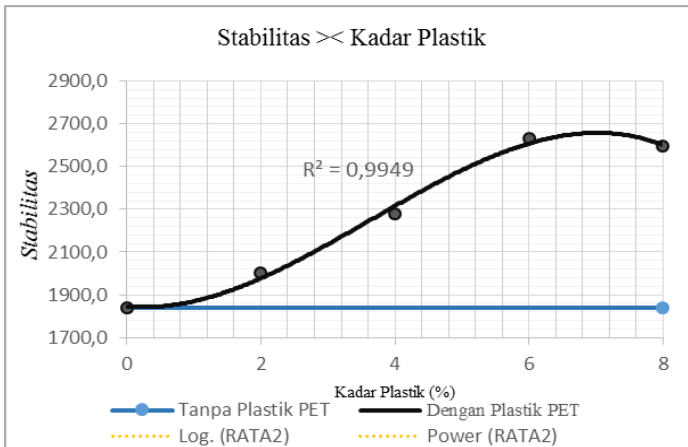
Gambar 2.18 Grafik Hasil Benda Uji pada Parameter VMA tanpa dan dengan PET

Sumber: Derina Septia Pratiwi. 2018



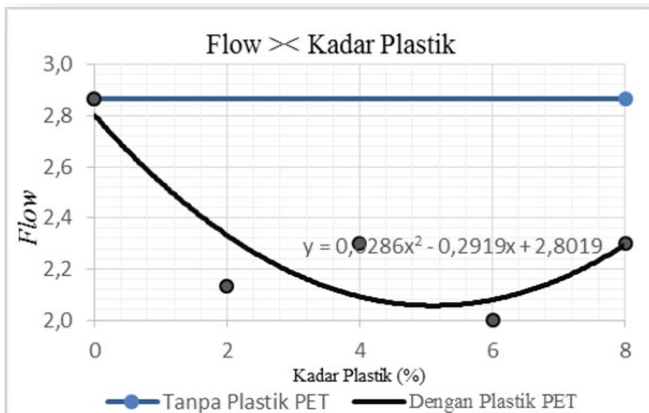
Gambar 2.28 Grafik Hasil Benda Uji pada Parameter VFA tanpa dan dengan PET

Sumber: Derina Septia Pratiwi, 2018



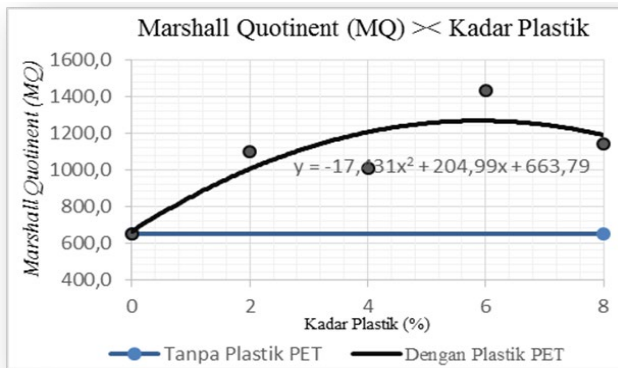
Gambar 2.29 Grafik Hasil Benda Uji pada Parameter stabilitas tanpa dan dengan PET

Sumber: Derina Septia Pratiwi, 2018



Gambar 2.19 Grafik Hasil Benda Uji pada Parameter *flow* tanpa dan dengan PET

Sumber: Derina Septia Pratiwi. 2018



Gambar 2.20 Grafik Hasil Benda Uji pada Parameter MQ tanpa dan dengan PET

Sumber: Derina Septia Pratiwi. 2018

Disimpulkan pada hasil analisa tersebut bahwa penambahan plastik PET pada aspal beton lapis pondasi yang paling maksimum 8% masih memenuhi standar.

2.6. Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu

Terdapat perbedaan antara penelitian ini dengan penelitian terdahulu sehingga dapat dilihat tahapan pengembangan dari penelitian-penelitian yang ada.

Jurnal	Perbedaan	
	Penelitian Terdahulu	Penelitian Sekarang
Purnamasari & Suryaman (2010) "Pengaruh penggunaan limbah botol plastik sebagai bahan tambah terhadap karakteristik lapis aspal beton (Laston)"	Perkerasan lapis aspal beton antara (AC-BC)	Perkerasan lapis aspal beton pondasi (AC-Base)
	Variasi kadar aspal 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5%, dan 7,0%	Kadar aspal optimum (KAO) 5,0%
	Penambahan plastik 0,15%, 0,30%, 0,45%, dan 0,60% dari berat aspal	Penambahan plastik 8,0% dari berat aspal
	Suhu pemadatan 180°C	Variasi suhu pemadatan 100°C, 110°C, 120°C, 130°C, 140°C, 150°C, 160°C, 170°C, dan 180°C
Imam Aschuri dkk. (2011) "Suhu Optimum Pada Proses Pemadatan Untuk Campuran Beraspal Dengan Menggunakan Modifikasi Bitumen Limbah Plastik"	Perkerasan lapis aspal beton aus (AC-WC)	Perkerasan lapis aspal beton pondasi (AC-Base)
	Penambahan plastik HDPE 1% dari berat aspal	Penambahan plastik PET 8,0% dari berat aspal
	Variasi suhu pemadatan 90°C, 110°C, 130°C, 140°C, 150°C, dan 160°C	Variasi suhu pemadatan 100°C, 110°C, 120°C, 130°C, 140°C, 150°C, 160°C, 170°C, dan 180°C
	Kadar aspal optimum (KAO) 7,35%	Kadar aspal optimum (KAO) 5,0%
	Aspal penetrasi 60/80	Aspal penetrasi 60/70

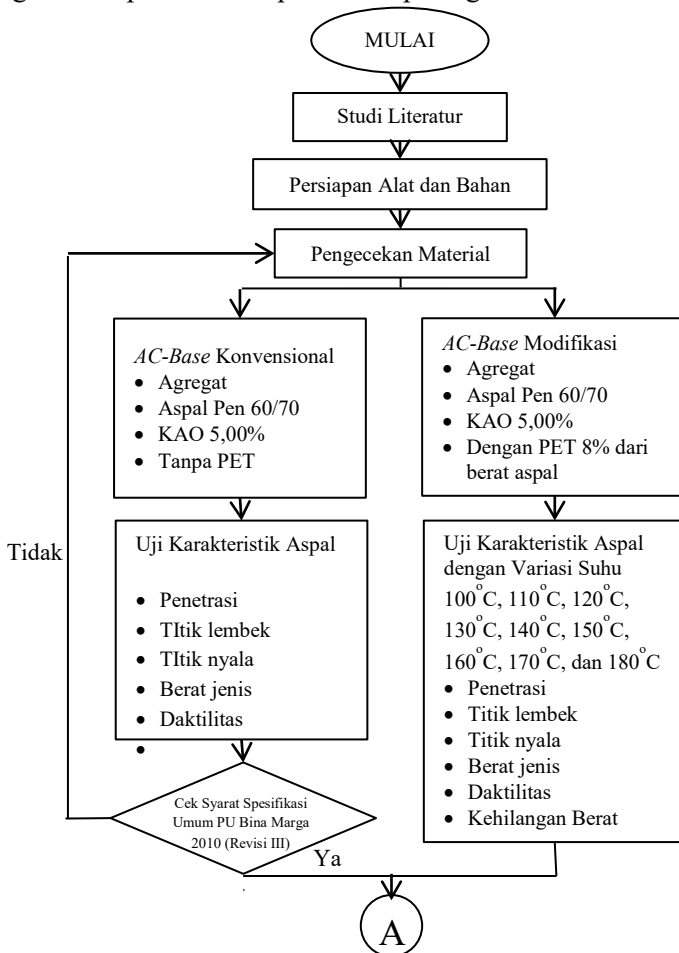
Jurnal	Perbedaan	
	Penelitian Terdahulu	Penelitian Sekarang
Budi Raharjo dkk. (2016) "Pengaruh Suhu Pematatan Campuran untuk Perkerasan Lapis Antara (AC-BC)"	Perkerasan lapis aspal beton antara (AC-BC)	Perkerasan lapis aspal beton pondasi (<i>AC-Base</i>)
	Variasi suhu pematatan 115°C, 125°C, 135°C, 145°C, dan 155°C	Variasi suhu pematatan 100°C, 110°C, 120°C, 130°C, 140°C, 150°C, 160°C, 170°C, dan 180°C
	Kadar aspal optimum (KAO) 6,1%	Kadar aspal optimum (KAO) 5,0%
Derina Septia (2018) "Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Pondasi (<i>AC-Base</i>) terhadap Pengaruh Plastik <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET)"	Suhu pematatan 180°C	Variasi suhu pematatan 100°C, 110°C, 120°C, 130°C, 140°C, 150°C, 160°C, 170°C, dan 180°C

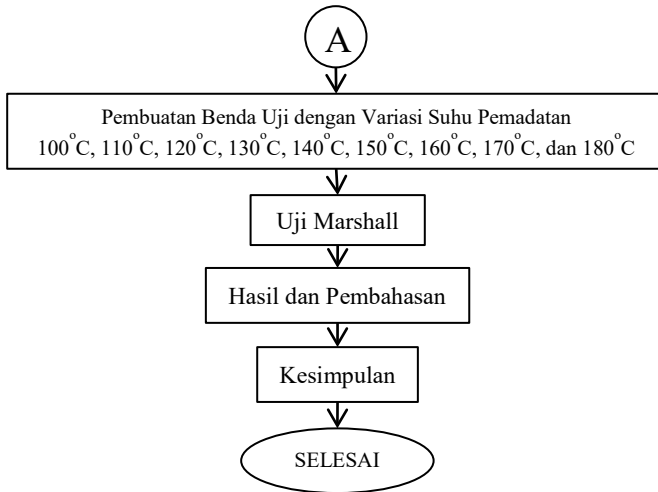
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian merupakan garis metode berisi dasar dan alur pemikiran untuk melaksanakan tahapan penelitian. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan supaya penelitian lebih terarah. Studi literatur dilakukan dari awal penelitian hingga akhir penelitian. Hal ini dilakukan supaya sebelum penelitian dimulai penulis mendapatkan gambaran hal-hal apa saja yang harus dilakukan.

Pada penelitian ini, literatur yang digunakan meliputi spesifikasi material yakni agregat, aspal, dan bahan tambahan berupa plastik tipe *Polyethyhlene Terephthalate* (PET). Literatur mengenai jenis aspal beton lapis pondasi serta pengaruhnya terhadap variasi suhu pematadatan juga perlu ditinjau lebih jauh. Sumber literatur yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Bina Marga mengenai lapisan aspal, Standar Nasional Indonesia yang berhubungan dengan penelitian, buku-buku yang menunjang penelitian, dan jurnal-jurnal yang diperoleh dari internet.

3.3 Penentuan Spesifikasi

Spesifikasi yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh mahasiswi Institut Teknologi Sepuluh Nopember yaitu Derina Septia Pratiwi tahun 2018 dengan judul penelitian “Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Pondasi (*AC-Base*) terhadap Pengaruh Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET)”.

Berikut proporsi campuran aspal beton konvensional dan modifikasi yang dijadikan acuan proporsi campuran pada penelitian ini pada tabel 3.1 dan tabel 3.2

Tabel 3.1 Proporsi Campuran *AC-Base* Konvensional

Saringan	%	%	Berat Agregat
	Lolos	Tertahan	gram
1 1/2"	100	0	0
1"	98.99	1.01	11.51
3/4"	86.84	12.15	138.51
1/2"	73.56	13.28	151.39
3/8"	66.60	6.96	79.34
no. 4	51.11	15.49	176.59
no. 8	35	16.11	183.65
no. 16	23.55	11.45	130.53
no. 30	16.88	6.67	76.04
no. 50	10.96	5.92	67.49
no. 100	7.28	3.68	41.95
no. 200	5.04	2.24	25.54
Pan	0	5.04	57.46
Total Berat Agregat (gram)		=	1140
Berat Aspal (gram)		=	60
Berat Plastik (gram)		=	0
Total Berat Campuran (gram)		=	1200

Sumber: Derina Septia Pratiwi, 2018

Tabel 3.2 Proporsi Campuran *AC-Base* Modifikasi

Saringan	%	%	Berat Agregat
	Lolos	Tertahan	gram
1 1/2"	100	0	0
1"	98.99	1.01	11.51
3/4"	86.84	12.15	138.51
1/2"	73.56	13.28	151.39
3/8"	66.60	6.96	79.34
no. 4	51.11	15.49	176.59
no. 8	35	16.11	183.65
no. 16	23.55	11.45	130.53
no. 30	16.88	6.67	76.04
no. 50	10.96	5.92	67.49
no. 100	7.28	3.68	41.95
no. 200	5.04	2.24	25.54
Pan	0	5.04	57.46
Total Berat Agregat (gram)		=	1140
Berat Aspal (gram)		=	55.2
Berat Plastik (gram)		=	4.8
Total Berat Campuran (gram)		=	1200

Sumber: Derina Septia Pratiwi. 2018

3.4 Persiapan Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini diperlukan bahan-bahan dan peralatan yang dapat menunjang penelitian. Dikarenakan penelitian ini merupakan penelitian lanjutan, maka untuk bahan-bahan yang digunakan harus dari sumber yang sama pada penelitian sebelumnya untuk menyamakan karakteristik material yang digunakan. Bahan-bahan yang digunakan meliputi:

3.4.1 Limbah Botol Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET)

Digunakan limbah botol plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) yang akan dicacah 0.5 cm x 0.5 cm dengan mesin pencacah. Hasil cacahan berupa plastik dengan potongan-potongan kecil. Limbah cacahan botol plastik ini diperoleh dari pengepul sampah yang berada di daerah Keputih, Kota Surabaya, Jawa Timur.



Gambar 3.2 Plastik PET Cacah

3.4.2 Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan yaitu batu pecah atau kerikil dengan ketentuan ukuran 10–10 mm. Agregat kasar sesuai penelitian sebelumnya diperoleh dari daerah Mojokerto, Jawa Timur.



Gambar 3.3 Agregat Kasar

3.4.3 Agregat Sedang

Agregat sedang yang digunakan yaitu batu pecah atau kerikil dengan ketentuan ukuran 5–10 mm. Agregat sedang sesuai penelitian sebelumnya diperoleh dari daerah Mojokerto, Jawa Timur.



Gambar 3.4 Agregat Sedang

3.4.4 Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan yaitu agregat dengan ketentuan ukuran 0–5 mm. Agregat halus sesuai penelitian sebelumnya diperoleh dari daerah Mojokerto, Jawa Timur.



Gambar 3.5 Agregat Halus

3.4.5 Aspal

Aspal yang digunakan yaitu aspal murni dengan penetrasi 60/70. Aspal ini kemudian akan di uji sebelum nantinya akan dijadikan campuran pembuatan benda uji sesuai dengan spesifikasi aspal beton lapis pondasi (*AC-Base*). Aspal sesuai penelitian sebelumnya diperoleh dari PT. Bumindo Karya Utama Gresik, Jawa Timur.



Gambar 3.6 Aspal Penetrasi 60/70

3.5 Uji Karakteristik Aspal

Uji karakteristik aspal dilakukan untuk mengetahui apakah material aspal yang digunakan memenuhi spesifikasi atau tidak menurut SNI dan Bina Marga. Jika material tidak memenuhi spesifikasi dapat dilakukan penggantian material dan diuji kembali. Uji karakteristik aspal modifikasi dengan penambahan plastik PET dilakukan dengan pencampuran pada variasi suhu yaitu 100°C, 110°C, 120°C, 130°C, 140°C, 150°C, 160°C, 170°C, dan 180°C. Benda uji aspal modifikasi dibuat setiap proporsi 100 gram, dengan berat aspal 92 gram dan berat plastik PET 8 gram untuk meminimalisir ketidaksamaan kadar aspal dan plastik PET pada setiap pengujian. Pengujian yang dilakukan meliputi:

3.5.1 Uji Penetrasi

Uji penetrasi menggunakan peraturan SNI 06-2456-1991. Pelaksanaan uji penetrasi yang pertama yakni melakukan pemanasan aspal hingga cair kemudian menuangkannya ke dalam 2 *tin box* sesuai batasnya. Kemudian *tin box* direndam dalam air selama 1-1,5 jam dalam suhu konstan 15°C - 30°C. Selanjutnya benda uji dimasukkan ke dalam tempat air dan diletakkan di bawah alat penetrasi yang telah dipasang jarum dengan pemberat total 100 gram. Jarum kemudian diturunkan hingga menyentuh permukaan benda uji, kemudian diatur hingga penetrometer berada di angka nol. Selanjutnya dimulai penetrasi hingga penetrometer berputar dan mencatat angka penetrasinya. Pengujian ini dilakukan minimum 6 kali dalam 1 *tin box* dengan jarak maksimal 1 cm setiap titik pengujian. Alat yang digunakan dalam uji penetrasi yakni termometer, penetrometer, jarum penetrasi, dan *tin box*.

3.5.2 Uji Titik Lembek

Uji titik lembek menggunakan peraturan SNI 06-2434-1991. Pada pelaksanaan uji titik lembek, hal pertama yang harus dilakukan adalah memanaskan aspal hingga cair. Kemudian menyiapkan 2 buah cincin dan letakkan diatas pelat kuningan yang telah dilapisi sabun. Menuangkan aspal cair kedalam 2 cincin tersebut. Setelah dingin, pasang dan letakkan kedua benda uji di atas kedudukannya dan meletakkan bola baja di atasnya, kemudian masukkan seluruh peralatan tersebut kedalam bejana gelas dan isilah dengan air. Meletakkan termometer diantara kedua benda uji. Memanaskan bejana gelas hingga kenaikan 5°C per menit. Kemudian catat suhu pada saat setiap bola menyentuh pelat dasar.

3.5.3 Uji Titik Nyala

Uji titik nyala dan titik bakar menggunakan peraturan SNI 06-2433-1991. Pada pelaksanaan uji titik nyala dan titik bakar, hal pertama yang harus dilakukan adalah memanaskan aspal hingga cair dan tuangkan kedalam cawan *cleveland*. Kemudian meletakkan cawan di atas pelat pemanas dan mengatur sumber pemanas hingga terletak di bawah titik tengah cawan. Meletakkan pembakar bunsen di titik tengah cawan, meletakkan dan mengatur termometer tegak lurus diatas benda uji. Menyalakan bunsen dan mengatur pemanas. Memutar batang nyala bunsen melalui permukaan cawan dalam waktu 1 detik, mengulangi setiap kenaikan 2°C. Mengulangi prosedur tersebut hingga terlihat nyala singkat di atas permukaan benda uji, membaca temperatur dan mencatat titik nyala. Manjutkan prosedur hingga terlihat nyala cukup lama lebih dari 3 detik, membaca temperatur dan mencatat titik bakar. Alat yang digunakan dalam uji titik nyala dan titik bakar yakni *cleveland open cup*, stopwatch, termometer, pemanas, penjepit termometer, dan bunsen penguji.

3.5.4 Uji Daktilitas

Uji daktilitas menggunakan peraturan SNI 06-2432-1991. Pertama menyiapkan cetakan daktilitas yang telah dilapisi dengan sabun. Kemudian memanaskan aspal hingga cair dan menuangkan ke dalam 2 cetakan. Setelah itu aspal direndam dalam air selama 30 menit pada suhu konstan 25°C. Kemudian melepaskan benda uji dari pelat dasar dan sisi-sisi cetakannya. Setelah itu memasang benda uji pada mesin daktilitas dan tarik benda uji secara teratur dengan kecepatan 5 cm per menit sampai benda uji putus. Mencatat hasil saat benda uji telah putus. Alat yang digunakan dalam uji daktilitas yakni cetakan kuningan, bak perendam, termometer, mesin uji yang dapat menjaga sampel tetap terendam.

3.5.5 Uji Kehilangan Berat

Uji kehilangan berat menggunakan peraturan SNI 06-2441-1991. Pada pelaksanaan uji kehilangan berat, hal pertama yang harus dilakukan adalah memanaskan aspal hingga cair dan tuangkan kedalam 2 *tin box*. Kemudian mendinginkan dengan cara merendamnya dalam air selama $\pm 1,5$ jam. Setelah dingin, menimbang benda uji dan catat hasilnya. Selanjutnya memanaskan benda uji dalam oven dengan suhu 163°C selama ± 5 jam. Mendinginkan benda uji, kemudian menimbang dan mencatat beratnya setelah di oven.. Alat yang digunakan dalam uji kehilangan berat yakni oven, *tin box*, dan timbangan.

3.5.6 Uji Berat Jenis

Uji berat jenis menggunakan peraturan SNI 06-2441-1991. Pertama menimbang piknometer kosong. Kemudian mengisi piknometer dengan air hingga penuh dan menimbang beratnya. Setelah itu memanaskan aspal hingga cair dan menuangkan ke dalam piknometer yang telah dibuang airnya sampai batas 40 ml. Menunggu piknometer dan aspal hingga dingin lalu menimbang. Kemudian mengisi piknometer yang berisi aspal dengan air hingga penuh dan menimbang. Alat yang digunakan dalam uji berat jenis yakni piknometer, timbangan elektrik, dan corong kaca.

3.6 Pembuatan Benda Uji *AC-Base* Konvensional

Setelah merancang komposisi campuran, maka dilakukan pembuatan benda uji *AC-Base* konvensional dengan tahapan sebagai berikut:

1. Menyiapkan komposisi campuran sesuai dengan tabel 3.1 seperti penelitian Derina Septia Pratiwi 2018;
2. Memanaskan aspal untuk pencampuran menggunakan kompor pemanas, agar temperatur pencampuran agregat dan aspal tetap terjaga (konstan). Kemudian dilakukan penimbangan aspal cair sesuai dengan perhitungan berat aspal menggunakan neraca. Aspal dipanaskan hingga mencapai suhu 180°C;
3. Memanaskan agregat dan diaduk di atas kompor pemanas pada suhu 155°C;
4. Mencampur agregat yang telah dipanaskan pada suhu 155°C dengan campuran aspal panas pada suhu 180°C;
5. Membersihkan perlengkapan cetakan benda uji serta bagian muka penumbuk dan letakkan cetakan di atas landasan pemadatan dan tahan dengan penahan cetakan;
6. Meletakkan selebar kertas saring yang sudah digunting menurut ukuran cetakan ke dasar cetakan. Oleskan oli pada cetakan agar aspal tidak melekat;
7. Memasukkan seluruh campuran ke dalam cetakan dan tusuk–tusuk campuran dengan spatula;
8. Melakukan pemadatan dengan alat *Marshall Automatic Compactor* dengan jumlah tumbukan 75 kali. Dengan tinggi jatuh 457,2 mm selama pemadatan usahakan tumbukan tegak agar benda uji terbentuk dengan baik. Suhu pemadatan yang digunakan adalah 100°C, 110°C, 120°C, 130°C, 140°C, 150°C, 160°C, 170°C, dan 180°C;
9. Melepaskan pelat alas dan leher sambung dari cetakan benda uji;
10. Membalikkan dan pasang kembali pelat alas dan leher sambung pada cetakan yang dibalikkan tadi;

11. Melakukan penumbukan dengan jumlah tumbukan yang sama terhadap permukaan benda uji yang sudah dibalikkan tersebut;
12. Melepaskan kepingan alat dan pasanglah alat pengeluar benda uji pada permukaan ujungnya;
13. Mengeluarkan dengan hati-hati dan letakkan benda uji diatas permukaan rata dan biarkan selama 3 jam pada suhu ruang;
14. Setelah dingin, maka keluarkan benda uji dari cetakan dengan bantuan ekstruder lalu diberi kode dengan menggunakan penanda;
15. Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel kemudian ditimbang beratnya untuk mendapatkan berat benda uji kering;
16. Benda uji direndam dalam air selama 24 jam pada suhu ruang supaya jenuh;
17. Menimbang dalam air untuk mendapatkan berat benda uji dalam air;
18. Mengeluarkan benda uji dari bak perendam dan dikeringkan dengan kain lap sampai permukaan kering dan didapatkan berat benda uji kering permukaan jenuh (*saturated surface dry, SSD*) kemudian ditimbang.

3.7 Pembuatan Benda Uji *AC-Base* Modifikasi

Setelah merancang komposisi campuran, maka dilakukan pembuatan benda uji *AC-Base* modifikasi dengan tahapan sebagai berikut:

1. Pembersihan dan perajangan plastik dengan mencuci dan membersihkan botol plastik dari lumpur ataupun kotoran yang lain;
2. Rajang plastik dengan mesin *plastic crusher*;
3. Menyiapkan komposisi campuran sesuai dengan table 3.2 seperti penelitian Derina Septia Pratiwi 2018;
4. Memanaskan aspal hingga suhu 180°C dan kemudian ditambahkan plastik yang telah dirajang dan diaduk hingga homogen;
5. Memanaskan agregat dan diaduk di atas kompor pemanas pada suhu 155°C ;
6. Mencampur agregat yang telah dipanaskan pada suhu 155°C dengan campuran aspal panas pada suhu 180°C ;
7. Membersihkan perlengkapan cetakan benda uji serta bagian muka penumbuk dan letakkan cetakan di atas landasan pemadatan dan tahan dengan penahan cetakan;
8. Meletakkan selembur kertas saring yang sudah digunting menurut ukuran cetakan ke dasar cetakan. Oleskan oli pada cetakan agar aspal tidak melekat;
9. Memasukkan seluruh campuran kedalam cetakan dan tusuk–tusuk campuran dengan spatula;
10. Melakukan pemadatan dengan alat *Marshall Automatic Compactor* dengan jumlah tumbukan 75 kali. Dengan tinggi jatuh 457,2 mm selama pemadatan usahakan tumbukan tegak agar benda uji terbentuk dengan baik. Suhu pemadatan yang digunakan adalah 100°C , 110°C , 120°C , 130°C , 140°C , 150°C , 160°C , 170°C , dan 180°C ;
11. Melepaskan pelat alas dan leher sambung dari cetakan benda uji;
12. Membalikkan dan pasang kembali pelat alas dan leher sambung pada cetakan yang dibalikkan tadi;

13. Melakukan penumbukan dengan jumlah tumbukan yang sama terhadap permukaan benda uji yang sudah dibalikkan tersebut;
14. Melepaskan kepingan alat dan pasanglah alat pengeluar benda uji pada permukaan ujungnya;
15. Mengeluarkan dengan hati-hati dan letakkan benda uji diatas permukaan rata dan biarkan selama 3 jam pada suhu ruang;
16. Setelah dingin, maka keluarkan benda uji dari cetakan dengan bantuan ekstruder lalu diberi kode dengan menggunakan penanda;
17. Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel kemudian ditimbang beratnya untuk mendapatkan berat benda uji kering;
18. Benda uji direndam dalam air selama 24 jam pada suhu ruang supaya jenuh;
19. Menimbang dalam air untuk mendapatkan berat benda uji dalam air;
20. Mengeluarkan benda uji dari bak perendam dan dikeringkan dengan kain lap sampai permukaan kering dan didapatkan berat benda uji kering permukaan jenuh (*saturated surface dry, SSD*) kemudian ditimbang.

3.8 Tata Cara Pelaksanaan

Teknik pencampuran yang digunakan yakni metode basah (*wet process*), yaitu pencampuran dimana plastik dimasukkan ke dalam aspal panas pada suhu campuran dan diaduk sampai homogen. Berikut rencana kode benda uji penelitian pada tabel 3.3 dan tabel 3.4

Tabel 3.3 Rencana Kode Benda Uji *AC-Base* Konvensional

Kode Benda Uji	Variasi Suhu Pemadatan	Jumlah Benda Uji
AK 1	100°C	5
AK 2	110°C	5
AK 3	120°C	5
AK 4	130°C	5
AK 5	140°C	5
AK 6	150°C	5
AK 7	160°C	5
AK 8	170°C	5
AK 9	180°C	5

Tabel 3.4 Rencana Kode Benda Uji *AC-Base* Modifikasi

Kode Benda Uji	Variasi Suhu Pemadatan	Jumlah Benda Uji
AM 1	100°C	5
AM 2	110°C	5
AM 3	120°C	5
AM 4	130°C	5
AM 5	140°C	5
AM 6	150°C	5
AM 7	160°C	5
AM 8	170°C	5
AM 9	180°C	5

3.9 Uji Marshall

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap pelelehan (*flow*) dari campuran aspal sesuai dengan SNI 06-2489-1991. Berikut langkah-langkah pengujian dengan alat Marshall otomatis:

1. Keluarkan benda uji dari bak perendam dan letakkan kedalam segmen bawah kepala penekan;
2. Pasang segmen atas di atas benda uji dan letakkan keseluruhannya dalam mesin penguji;
3. Tekan tombol *down* pada alat uji Marshall otomatis;
4. Tunggu hingga alat tersebut menyelesaikan penekanan terhadap benda uji;
5. Jika alat tersebut sudah melakukan penekanan terhadap benda uji, maka akan keluar grafik *flow* dan beban pada monitor alat tersebut.

3.10 Hasil dan Pembahasan

Setelah pengujian Marshall selesai, didapat nilai stabilitas dan *flow*. Selanjutnya menghitung pengujian volumetrik yaitu kepadatan (*density*), VIM, VMA, dan VFA kemudian membandingkan dengan spesifikasi umum Bina Marga 2010. Hasil pengolahan data akan diuraikan dalam bentuk grafik hubungan antara suhu pemadatan dan parameter Marshall baik aspal beton lapis pondasi konvensional maupun modifikasi, yaitu gambar grafik hubungan antara:

- a. Hubungan Suhu Pemadatan terhadap kepadatan (*density*);
- b. Hubungan Suhu Pemadatan terhadap VIM;
- c. Hubungan Suhu Pemadatan terhadap VMA;
- d. Hubungan Suhu Pemadatan terhadap VFA;
- e. Hubungan Suhu Pemadatan terhadap stabilitas;
- f. Hubungan Suhu Pemadatan terhadap pelelehan (*flow*);
- g. Hubungan Suhu Pemadatan terhadap *Marshall Quotient* (MQ).

3.11 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran dibuat berdasarkan ringkasan hasil analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan pada proses sebelumnya. Kesimpulan yang didapatkan berupa pengaruh variasi suhu pemadatan pada Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) dengan dan tanpa penambahan plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET). Saran yang diberikan didapat dari evaluasi atau kekurangan dari penelitian yang dilakukan sehingga dapat menjadi bahan perbaikan pada penelitian selanjutnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Uji Karakteristik Aspal

Uji karakteristik aspal yang dilakukan terdiri dari uji penetrasi, titik lembek, titik nyala, daktilitas, kehilangan berat, dan berat jenis. Pengujian dilakukan dengan variasi suhu pencampuran antara aspal dan plastik PET yang nantinya dibandingkan dengan karakteristik aspal konvensional.

4.1.1 Uji Penetrasi

Penetrasi dapat menunjukkan mutu suatu aspal. Pengujian ini ditujukan untuk menentukan kekerasan dan kelembekan suatu aspal. Pengujian dilakukan pada 2 benda uji setiap suhu pencampuran yang nantinya diambil nilai rata-rata dari 2 benda uji tersebut. Tabel 4.1 menunjukkan perhitungan penetrasi pada suhu pencampuran 100°C

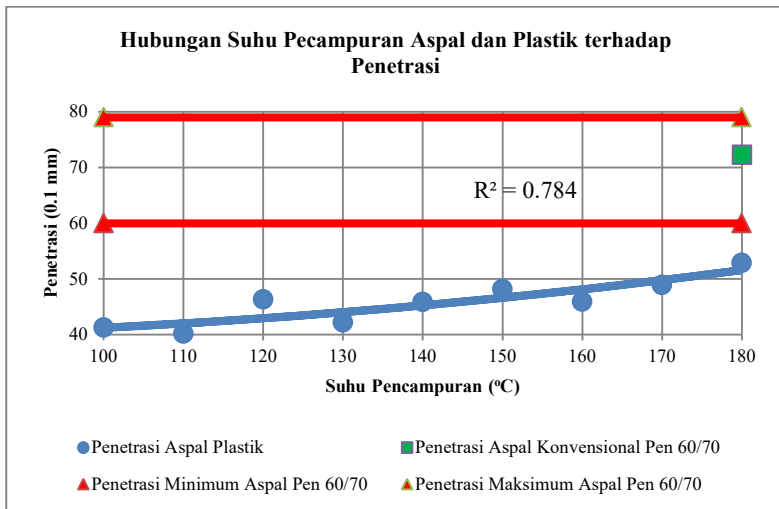
Tabel 4.1 Penetrasi Suhu Pencampuran 100°C

Nomor Pengujian	Benda Uji	
	I	II
	(0.1 mm)	(0.1 mm)
1	36	42
2	45	40
3	43	42
4	40	36
5	37	47
6	42	45
Rata-rata	40.50	42.00
Rata-rata 2 benda uji	41.25	

Hasil penetrasi untuk aspal dengan bahan tambah plastik pada suhu pencampuran 100°C adalah 41.25. Data lainnya dapat dilihat pada lampiran no. 2 halaman 145. Tabel 4.2 menunjukkan seluruh hasil uji penetrasi pada setiap suhu pencampuran aspal dan plastik dan gambar 4.1 menunjukkan grafik hubungan suhu pencampuran aspal dan plastik terhadap penetrasi.

Tabel 4.2 Hasil Uji Penetrasi terhadap Suhu Pencampuran Aspal dan Plastik

Suhu Pencampuran	Penetrasi
°C	0.1 mm
100	41.25
110	40.17
120	46.33
130	42.17
140	45.83
150	48.17
160	45.92
170	48.92
180	52.83



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Suhu Pencampuran Aspal dan Plastik terhadap Penetrasi

Dari gambar 4.1 menunjukkan nilai penetrasi yang cenderung meningkat seiring dengan peningkatan suhu pencampuran aspal dan plastik. Penetrasi terendah yaitu pada suhu pencampuran 100°C sebesar 41.25 dan penetrasi tertinggi pada suhu pencampuran 180°C yaitu 52.83. Tidak ada nilai penetrasi yang memenuhi SNI 06-2456-1991 untuk aspal penetrasi 60/70. Aspal dengan penambahan plastik memiliki nilai penetrasi yang lebih rendah dibanding aspal konvensional penetrasi 60/70. R^2 pada penelitian ini masuk pada rentang $0.75 < R^2 \leq 0.99$ menunjukkan bahwa hubungan antara suhu pencampuran aspal dan plastik terhadap penetrasi yaitu sangat kuat. Nilai penetrasi yang terjadi memenuhi untuk aspal penetrasi 40/50 yang cocok digunakan untuk daerah dengan cuaca panas serta volume lalu lintas yang tinggi.

Semakin besar angka penetrasi maka semakin lembek aspal tersebut, sedangkan semakin kecil angka penetrasi maka aspal tersebut semakin keras atau getas. Aspal dengan nilai penetrasi yang rendah dari standar dapat disebabkan karena tercampurnya bahan bukan aspal seperti *filler* atau pasir (Soehartono, 2015).

4.1.2 Uji titik lembek

Pengujian titik lembek bertujuan untuk mengetahui kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur. Pengujian dilakukan pada 4 benda uji setiap suhu pencampuran yang nantinya diambil nilai rata-rata dari 4 benda uji tersebut. Tabel 4.3 menunjukkan perhitungan titik lembek pada suhu pencampuran 100°C

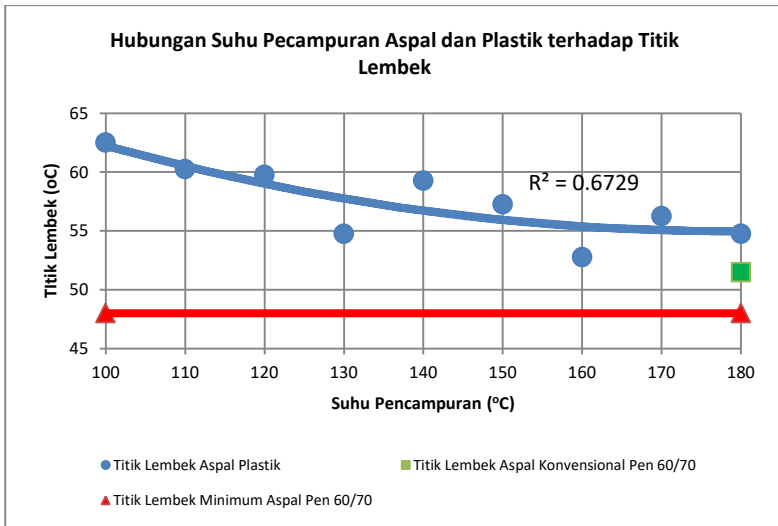
Tabel 4.3 Titik Lembek Suhu Pencampuran 100°C

Keterangan	Benda Uji			
	I	II	III	IV
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
Titik Lembek	60	62	65	63
Titik Lembek Rata - Rata	62.5			

Hasil titik lembek untuk aspal dengan bahan tambah plastik pada suhu pencampuran 100°C adalah 62.5°C. Data pada suhu pencampuran yang lain dapat dilihat pada lampiran no. 3 halaman 149. Tabel 4.4 menunjukkan seluruh hasil uji titik lembek pada setiap suhu pencampuran aspal dan plastik dan gambar 4.2 menunjukkan grafik hubungan suhu pencampuran aspal dan plastik terhadap titik lembek.

Tabel 4.4 Hasil Uji Titik Lembek terhadap Suhu Pencampuran Aspal dan Plastik

Suhu Pencampuran °C	Titik Lembek °C
100	62.50
110	60.25
120	59.75
130	54.75
140	59.25
150	57.25
160	52.75
170	56.25
180	54.75



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Suhu Pencampuran Aspal dan Plastik terhadap Titik Lembek

Dari gambar 4.2, grafik hubungan suhu pecampuran aspal dan plastik terhadap titik lembek cenderung menurun seiring dengan peningkatan suhu pencampuran. Seluruh suhu pencampuran memenuhi SNI 2434:2011 yaitu minimum 48°C untuk aspal penetrasi 60/70. Aspal dengan penambahan plastik memiliki titik lembek yang lebih tinggi dibanding aspal konvensional penetrasi 60/70. Titik lembek yang rendah menunjukkan aspal sangat peka terhadap perubahan suhu sehingga aspal mudah menjadi lunak ketika mengalami peningkatan suhu. *R square* (R^2) dengan angka 0.6729 menunjukkan bahwa hubungan antara suhu pencampuran aspal dan plastik terhadap titik lembek yaitu kuat pada penelitian ini dan masuk pada rentang $0.50 < R^2 \leq 0.75$.

4.1.3 Uji Titik Nyala

Pengujian titik nyala bertujuan untuk mengetahui batas maksimum memanaskan aspal. Pengujian dilakukan pada 2 benda uji setiap suhu pencampuran yang nantinya diambil nilai rata-rata dari 2 benda uji tersebut. Tabel 4.5 menunjukkan perhitungan titik nyala pada suhu pencampuran 100°C

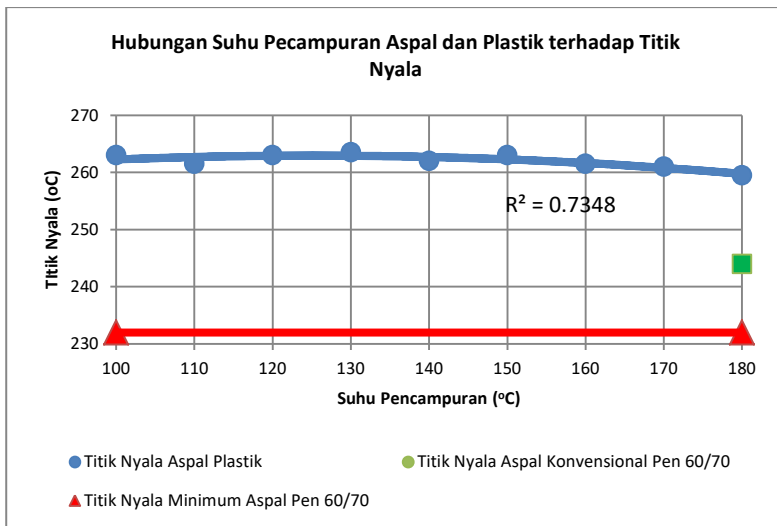
Tabel 4.5 Titik Nyala Suhu Pencampuran 100°C

Keterangan	Benda Uji	
	I	II
	(°C)	(°C)
Titik Nyala	265	261
Titik Nyala Rata - Rata	263	

Hasil titik nyala untuk aspal dengan bahan tambah plastik pada suhu pencampuran 100°C adalah 263°C. Data lainnya dapat dilihat pada lampiran no. 4 halaman 150. Tabel 4.6 menunjukkan seluruh hasil uji titik nyala pada setiap suhu pencampuran aspal dan plastik dan gambar 4.3 menunjukkan grafik hubungan suhu pencampuran aspal dan plastik terhadap titik nyala.

Tabel 4.6 Hasil Uji Titik Nyala terhadap Suhu Pencampuran Aspal dan Plastik

Suhu Pencampuran	Titik Nyala
(°C)	(°C)
100	263.0
110	261.5
120	263.0
130	263.5
140	262.0
150	263.0
160	261.5
170	261.0
180	259.5



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Suhu Pencampuran Aspal dan Plastik terhadap Titik Nyala

Dari gambar 4.3, grafik hubungan suhu pecampuran aspal dan plastik terhadap titik nyala cenderung menurun seiring dengan peningkatan suhu pencampuran. Seluruh suhu pencampuran memenuhi SNI 2433:2011 yaitu minimum 232°C untuk aspal penetrasi 60/70. Aspal dengan penambahan plastik memiliki titik nyala yang lebih tinggi dibanding aspal konvensional penetrasi 60/70. *R square* (R^2) dengan angka 0.7348 menunjukkan bahwa hubungan antara suhu pencampuran aspal dan plastik terhadap titik nyala yaitu kuat pada penelitian ini dan masuk pada rentang $0.50 < R^2 \leq 0.75$.

Titik nyala yang tinggi menunjukkan aspal memungkinkan untuk dipanaskan hingga suhu cukup tinggi. Kualitas dan mutu aspal akan berkurang apabila melewati batas titik nyala yang telah diuji karena minyak yang dikandung aspal dapat menguap sehingga aspal kurang kekuatannya. Titik nyala yang tinggi memberikan keamanan dan mengurangi bahaya pada pekerja karena aspal lama untuk terbakar (Soehartono, 2015).

4.1.4 Uji Daktilitas

Pengujian daktilitas pada aspal bertujuan untuk mengetahui kekenyalan aspal. Pengujian dilakukan pada 2 benda uji setiap suhu pencampuran yang nantinya diambil nilai rata-rata dari 2 benda uji tersebut. Tabel 4.7 menunjukkan perhitungan daktilitas pada suhu pencampuran 100°C

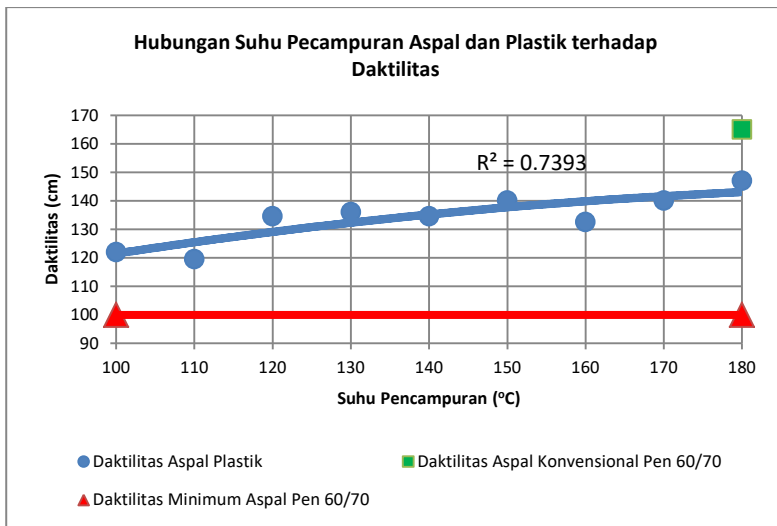
Tabel 4.7 Daktilitas Suhu Pencampuran 100°C

Keterangan	Benda Uji	
	I	II
	(cm)	(cm)
Daktilitas	119	125
Daktilitas Rata-rata	122	

Hasil daktilitas untuk aspal dengan bahan tambah plastik pada suhu pencampuran 100°C adalah 122 cm. Data lainnya dapat dilihat pada lampiran no. 5 halaman 151. Tabel 4.8 menunjukkan seluruh hasil uji daktilitas pada setiap suhu pencampuran aspal dan plastik dan gambar 4.4 menunjukkan grafik hubungan suhu pencampuran aspal dan plastik terhadap daktilitas.

Tabel 4.8 Hasil Uji Daktilitas terhadap Suhu Pencampuran Aspal dan Plastik

Suhu Pencampuran °C	Daktilitas cm
100	122
110	119.5
120	134.5
130	136
140	134.5
150	140
160	132.2
170	140
180	147



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Suhu Pencampuran Aspal dan Plastik terhadap Daktilitas

Dari gambar 4.4 menunjukkan nilai daktilitas yang cenderung meningkat seiring dengan peningkatan suhu pencampuran aspal dan plastik. Seluruh suhu pencampuran memenuhi SNI 2432:2011 yaitu minimum 100 cm untuk aspal penetrasi 60/70. Aspal dengan penambahan plastik memiliki nilai daktilitas yang lebih rendah dibanding aspal konvensional penetrasi 60/70. Nilai penetrasi yang kecil berarti aspal semakin keras dan getas. Rentang nilai penetrasi 100 cm hingga 200 cm menunjukkan campuran aspal dan plastik tergolong plastis. *R square* (R^2) pada penelitian ini masuk pada rentang $0.50 < R^2 \leq 0.75$ menunjukkan bahwa hubungan kuat antara suhu pencampuran aspal dan plastik terhadap daktilitas.

4.1.5 Uji Kehilangan Berat

Pengujian kehilangan berat bertujuan untuk mengetahui kehilangan minyak pada aspal seiring dengan pemanasan yang berulang. Pengujian dilakukan pada 2 benda uji setiap suhu pencampuran yang nantinya diambil nilai rata-rata dari 2 benda uji tersebut. Tabel 4.9 menunjukkan perhitungan kehilangan berat pada suhu pencampuran 100°C

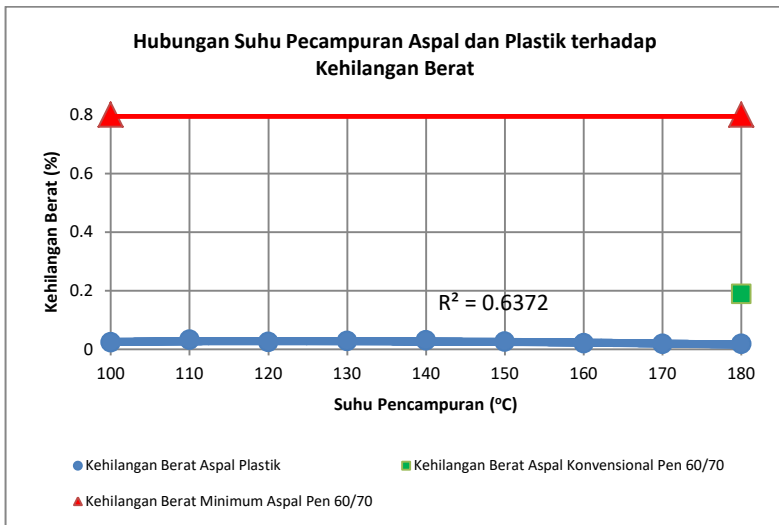
Tabel 4.9 Kehilangan Berat Suhu Pencampuran 100°C

Keterangan	Benda Uji		Satuan
	I	II	
Berat Cawan + Aspal Sebelum Pengujian (A)	103.473	103.514	gram
Berat Cawan + Aspal Setelah Pengujian (B)	103.441	103.498	gram
Kehilangan Berat $(A - B) \times 100\%$	0.031	0.015	%
A			
Kehilangan Berat Rata-rata	0.0232		%

Hasil kehilangan berat untuk aspal dengan bahan tambah plastik pada suhu pencampuran 100°C adalah 0.0232%. Data pada suhu pencampuran yang lain dapat dilihat pada lampiran no. 6 halaman 152. Tabel 4.10 menunjukkan seluruh hasil uji kehilangan berat pada setiap suhu pencampuran aspal dan plastik dan gambar 4.4 menunjukkan grafik hubungan suhu pencampuran aspal dan plastik terhadap kehilangan berat.

Tabel 4.10 Hasil Uji Kehilangan Berat terhadap Suhu Pencampuran Aspal dan Plastik

Suhu Pencampuran °C	Kehilangan Berat %
100	0.0232
110	0.0324
120	0.0246
130	0.0276
140	0.0304
150	0.0256
160	0.0198
170	0.0179
180	0.0185



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Suhu Pencampuran Aspal dan Plastik terhadap Kehilangan Berat

Dari gambar 4.5 menunjukkan nilai persentase kehilangan berat cenderung menurun seiring dengan peningkatan suhu pencampuran aspal dan plastik. Seluruh suhu pencampuran memenuhi SNI 06-2441-1991 yaitu minimum 0,8% untuk aspal penetrasi 60/70. Aspal dengan penambahan plastik memiliki persentase kehilangan berat yang lebih rendah dibanding aspal konvensional penetrasi 60/70. Persentase kehilangan berat yang kecil menunjukkan kualitas dan mutu aspal bagus karena minyak pada aspal tidak banyak yang hilang meskipun mengalami pemanasan yang berulang. R^2 pada penelitian ini masuk pada rentang $0.50 < R^2 \leq 0.75$ menunjukkan bahwa hubungan kuat antara suhu pencampuran aspal dan plastik terhadap kehilangan berat.

4.1.6 Uji Berat Jenis

Pengujian berat jenis pada aspal bertujuan untuk mengetahui kepadatan dari aspal. Pengujian dilakukan pada 2 benda uji setiap suhu pencampuran yang nantinya diambil nilai rata-rata dari 2 benda uji tersebut. Tabel 4.11 menunjukkan perhitungan berat jenis pada suhu pencampuran 100°C

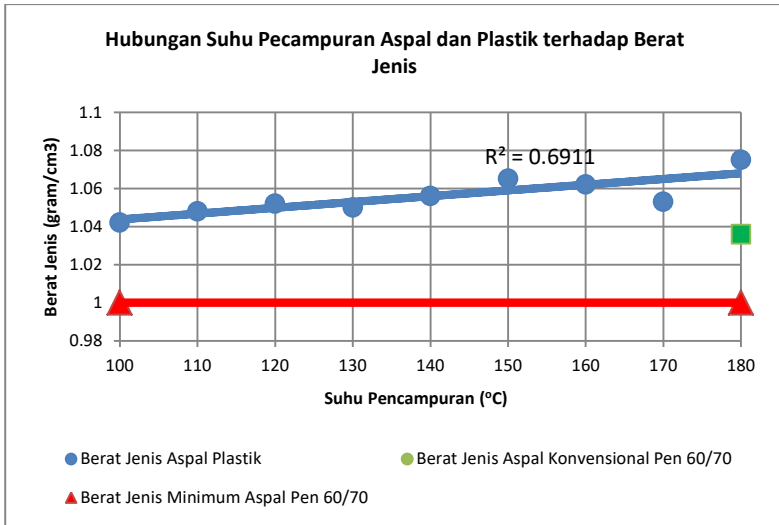
Tabel 4.11 Berat Jenis Suhu Pencampuran 100°C

Keterangan	Benda Uji		Satuan
	I	II	
Berat Piknometer (A)	71.161	59.888	gram
Berat Piknometer + Air (B)	200.381	200.284	gram
Berat Piknometer + Aspal (C)	97.490	98.342	gram
Berat Piknometer + Aspal + Air (D)	201.459	201.840	gram
Berat Jenis	1.043	1.042	gram/cm ³
C - A			
(B - A) - (D - C)			
Berat Jenis Rata - Rata	1.042		

Hasil berat jenis untuk aspal dengan bahan tambah plastik pada suhu pencampuran 100°C adalah 1.042 gram/cm^3 . Data hasil uji berat jenis pada suhu pencampuran lainnya dapat dilihat pada lampiran no. 7 halaman 155. Tabel 4.12 menunjukkan seluruh hasil uji berat jenis pada setiap suhu pencampuran aspal dan plastik dan gambar 4.4 menunjukkan grafik hubungan suhu pencampuran aspal dan plastik terhadap berat jenis.

Tabel 4.12 Hasil Uji Berat Jenis terhadap Suhu Pencampuran Aspal dan Plastik

Suhu Pencampuran	Berat Jenis
$^{\circ}\text{C}$	gram/cm^3
100	1.042
110	1.048
120	1.052
130	1.050
140	1.056
150	1.065
160	1.062
170	1.053
180	1.075



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Suhu Pencampuran Aspal dan Plastik terhadap Berat Jenis

Dari gambar 4.6, grafik hubungan suhu pecampuran aspal dan plastik terhadap berat jenis cenderung meningkat seiring dengan peningkatan suhu pencampuran. Seluruh suhu pencampuran memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2010 yaitu minimum 1 gram/cm³ untuk aspal penetrasi 60/70. Aspal dengan penambahan plastik memiliki berat jenis yang lebih tinggi dibanding aspal konvensional penetrasi 60/70. Berat jenis yang tinggi menunjukkan aspal memiliki kepadatan yang rapat. Kepadatan berpengaruh terhadap perencanaan campuran agregat dan aspal. *R square* (R^2) dengan angka 0.6911 menunjukkan bahwa hubungan kuat pada penelitian ini antara suhu pencampuran aspal dan plastik terhadap berat jenis dan masuk pada rentang $0.50 < R^2 \leq 0.75$.

4.2 Hasil Uji Aspal Beton Konvensional

Pengujian pada aspal beton konvensional meliputi pengujian sifat volumetrik campuran aspal beton dan uji Marshall. Pengujian sifat volumetrik terdiri dari VIM, VMA, dan VFA, sedangkan untuk pengujian marshall yang terdiri dari stabilitas, pelelehan (*flow*), dan *marshall quotient*.

4.2.1 Kepadatan (*Density*)

Kepadatan adalah tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan atau berat campuran pada setiap satuan volume. Campuran yang mempunyai nilai kepadatan baik mampu menahan beban yang lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang memiliki kepadatan rendah (Sukirman S. , 2003). Sesuai perhitungan dan hasil uji, diperoleh kepadatan campuran aspal beton konvensional pada suhu 100°C yang dapat dilihat pada tabel 4.13 berikut:

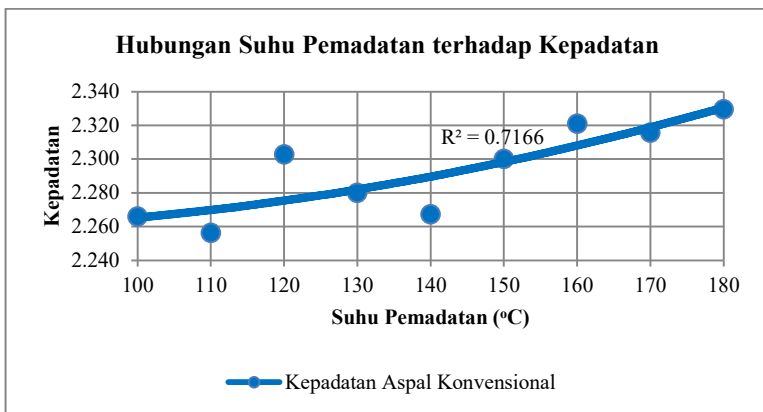
Tabel 4.13 Hasil Uji Kepadatan Aspal Beton Konvensional Suhu Pematatan 100°C

Suhu Pematatan °C	Kode	Berat			Kepadatan	Rata-rata Kepadatan
		Kering gram	Dalam Air gram	SSD gram		
100	AK 1 1	1186	688	1210	2.272	2.266
	AK 1 2	1184	692	1212	2.277	
	AK 1 3	1182	688	1214	2.247	
	AK 1 4	1184	690	1210	2.277	
	AK 1 5	1182	688	1212	2.256	

Hasil uji kepadatan aspal beton konvensional pada suhu pematatan yang lain dapat dilihat pada lampiran no. 8 halaman 158. Rekapitulasi nilai kepadatan rata-rata 5 benda uji dari masing-masing suhu pematatan dapat dilihat pada tabel 4.14 dan grafik pengaruh suhu pematatan terhadap kepadatan dapat dilihat pada gambar 4.7 sebagai berikut:

Tabel 4.14 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji Kepadatan

Suhu Pematatan °C	Rata-rata Kepadatan
100	2.266
110	2.256
120	2.303
130	2.280
140	2.267
150	2.300
160	2.321
170	2.316
180	2.329

**Gambar 4.7** Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap Kepadatan

Selanjutnya hasil uji kepadatan aspal beton konvensional pada suhu pemadatan lainnya dapat dilihat pada lampiran. Dari gambar 4.7, grafik hubungan suhu pemadatan aspal konvensional terhadap kepadatan cenderung naik seiring meningkatnya suhu pemadatan. Pada suhu pemadatan yang tinggi menyebabkan aspal beton mengalami pemadatan optimal sehingga meningkatnya nilai kepadatan. Pada suhu rendah, aspal beton memiliki banyak rongga yang tidak dapat terisi aspal maupun agregat akibat tidak mengalami pemadatan yang optimal sehingga kurang padat. Nilai R square (R^2) pada grafik ini adalah 0.7166 masuk pada rentang $0,50 < R^2 \leq 0,75$ sehingga hubungan antara suhu pemadatan terhadap kepadatan adalah kuat.

4.2.2 Rongga Dalam Campuran (VIM)

Void in Mix (VIM) adalah volume rongga yang masih tersisa setelah campuran aspal beton dipadatkan. VIM dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas dan tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur (Sukirman S., 2013). Sesuai perhitungan dan hasil uji, diperoleh nilai VIM aspal beton konvensional pada suhu pemadatan 100°C dapat dilihat pada tabel 4.15 berikut:

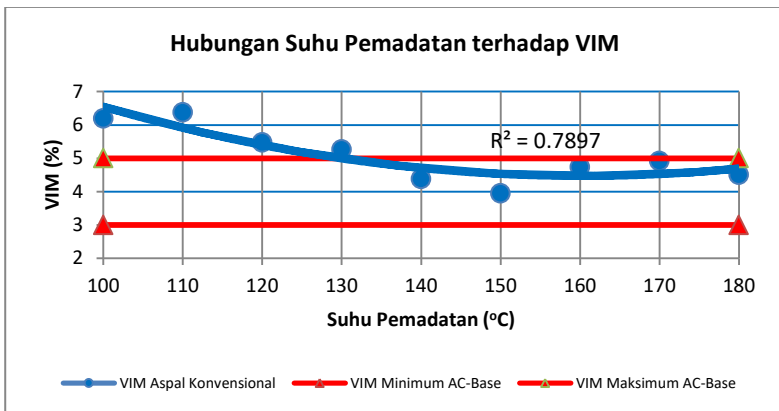
Tabel 4.15 Hasil Uji VIM Aspal Beton Konvensional Suhu Pemadatan 100°C

Suhu Pemadatan	Kode	VIM	Rata-rata VIM
°C		%	%
100	AK 1 1	6.70	6.19
	AK 1 2	6.32	
	AK 1 3	5.93	
	AK 1 4	5.43	
	AK 1 5	6.56	

Selanjutnya hasil uji kepadatan aspal beton konvensional pada suhu pemadatan lainnya dapat dilihat pada lampiran no.9 halaman 160. Dari 5 benda uji dari setiap variasi suhu pemadatan didapatkan masing-masing nilai VIM dan rekapitulasi nilai VIM rata-rata dapat dilihat pada tabel 4.16 dan grafik pengaruh suhu pemadatan terhadap VIM dapat dilihat pada gambar 4.8 sebagai berikut:

Tabel 4.16 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji VIM

Suhu Pemadatan	Rata-rata VIM
°C	%
100	6.19
110	6.38
120	5.47
130	5.26
140	4.38
150	3.95
160	4.73
170	4.92
180	4.51



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Suhu Pemadatan terhadap VIM

Dari gambar 4.8, grafik menunjukkan VIM atau volume rongga dalam campuran aspal beton pada pengujian aspal konvensional dengan variasi suhu pemadatan cenderung menurun seiring meningkatnya suhu pemadatan. Spesifikasi umum Bina Marga 2010 untuk AC-Base memiliki syarat minimum 3% dan maksimum 5%, sehingga pada pengujian ini hanya pada suhu pemadatan 140°C hingga 180°C yang memenuhi. Nilai *R square* (R^2) pada penelitian ini yaitu 0.7897 masuk dalam rentang $0,75 < R^2 \leq 0,99$ sehingga hubungan suhu pemadatan terhadap VIM sangat kuat.

Menurut Budi Raharjo, dkk (2016), variasi suhu pemadatan yang dilakukan pada suhu 115°C, 125°C, 135°C, 145°C, dan 155°C menghasilkan data tidak semua pengujian suhu pemadatan yang memenuhi spesifikasi umum Binamarga 2010. Pada suhu 145°C dan 155°C saja yang memenuhi. Memenuhi atau tidaknya sampel dikarenakan nilai VIM yang berubah seiring dengan perubahan suhu pemadatan. Semakin tinggi suhu pemadatan maka nilai VIM akan semakin menurun atau kecil. Hal ini dikarenakan pada suhu pemadatan rendah aspal sulit menyelimuti agregat sehingga campuran aspal dan agregat tidak dapat homogen.

Penelitian ini mengkonfirmasi penelitian sebelumnya dan penjelasan dasar teori mengenai VIM. Pada suhu rendah VIM tidak memenuhi spesifikasi dikarenakan nilai VIM yang tinggi dan melewati batas maksimum. Nilai VIM yang tinggi pada suhu pemadatan rendah dikarenakan aspal sulit menyelimuti agregat sehingga campuran aspal dan agregat tidak dapat homogen. Nilai VIM yang tinggi berpengaruh terhadap lemahnya kedekatan terhadap air dan udara.

4.2.3 Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)

Menurut Silvia Sukirman (2003), *Void in Mineral Aggregate* (VMA) adalah volume rongga di antara partikel agregat dalam campuran yang telah dipadatkan, termasuk rongga yang terisi oleh aspal yang dinyatakan dalam persentase terhadap volume total campuran. VMA dihitung berdasarkan berat jenis agregat curah dan dinyatakan dalam persentase dari volume curah campuran padat. Sesuai perhitungan dan hasil uji, diperoleh nilai VMA pada suhu pemadatan 100°C dapat dilihat dalam tabel 4.17 sebagai berikut:

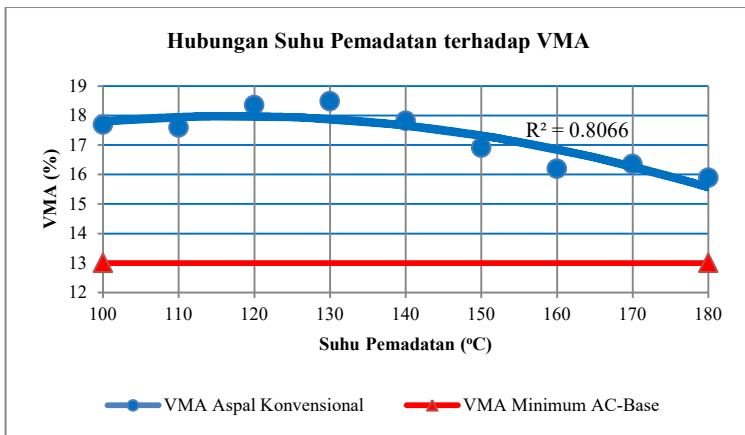
Tabel 4.17 Hasil Uji VMA Aspal Beton Konvensional Suhu Pemadatan 100°C

Suhu Pemadatan	Kode	VMA	Rata-rata VMA
°C		%	%
100	AK 1 1	14.63	17.69
	AK 1 2	16.75	
	AK 1 3	18.83	
	AK 1 4	19.75	
	AK 1 5	18.51	

Selanjutnya hasil uji kepadatan aspal beton konvensional pada suhu pemadatan lainnya dapat dilihat pada lampiran no.10 halaman 162. Dari 5 benda uji dari setiap variasi suhu pemadatan didapatkan masing-masing nilai VMA dan rekapitulasi nilai VMA rata-rata dapat dilihat pada tabel 4.18 dan grafik pengaruh suhu pemadatan terhadap VMA dapat dilihat pada gambar 4.9 sebagai berikut:

Tabel 4.18 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji VMA

Suhu Pematatan	Rata-rata VMA
°C	%
100	17.69
110	17.59
120	18.36
130	18.49
140	17.83
150	16.91
160	16.19
170	16.36
180	15.89

**Gambar 4.9** Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap VMA

Dari grafik hubungan suhu pemadatan terhadap VMA pada pengujian aspal beton konvensional dengan variasi suhu pemadatan menghasilkan data seiring dengan peningkatan suhu pemadatan maka nilai VMA cenderung menurun. Semua nilai VMA pengujian variasi suhu pemadatan memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2010 yaitu minimum 13% untuk AC-Base. Nilai VMA tertinggi pada suhu 130°C sebesar 18.49% dan terendah pada suhu 180°C sebesar 15.89%. Nilai *R square* (R^2) pada penelitian ini yaitu 0.8066 masuk dalam rentang $0,75 < R^2 \leq 0,99$ sehingga hubungan suhu pemadatan terhadap VMA sangat kuat.

Nilai VMA mengalami penurunan seiring meningkatnya suhu pemadatan yang dilakukan pada suhu 115, 125, 135, 145, dan 155°C. Nilai VMA terendah pada suhu pemadatan 115 sebesar 15.96% dan tertinggi pada suhu 155 sebesar 17.35%. Nilai VMA yang tinggi pada suhu rendah dikarenakan aspal beton tidak mengalami pemadatan yang optimal. Pemadatan yang tidak optimal menyebabkan aspal tidak dapat mengisi rongga secara optimal. Akibatnya, kurangnya lekatan antar butir agregat yang menjadikan butiran agregat lepas dan campuran menjadi retak (Budi Raharjo, dkk, 2016).

Hasil penelitian ini memperkuat teori dan penelitian terdahulu perihal hubungan VMA dengan variasi suhu pemadatan. Suhu pemadatan tinggi mengakibatkan rongga di antara partikel agregat kecil dan aspal dapat mengisi rongga. Butiran agregat menjadi melekat satu dengan yang lain sehingga agregat tidak mudah lepas dan campuran aspal beton tidak mudah *crack*.

4.2.4 Rongga Terisi Aspal (VFA)

Void Filled with Asphalt (VFA) adalah persentase rongga dalam agregat padat yang tersisi aspal (Sukirman S., 2003). Sesuai perhitungan dan hasil uji, diperoleh nilai VFA pada suhu pemadatan 100°C dapat dilihat dalam tabel 4.19 sebagai berikut:

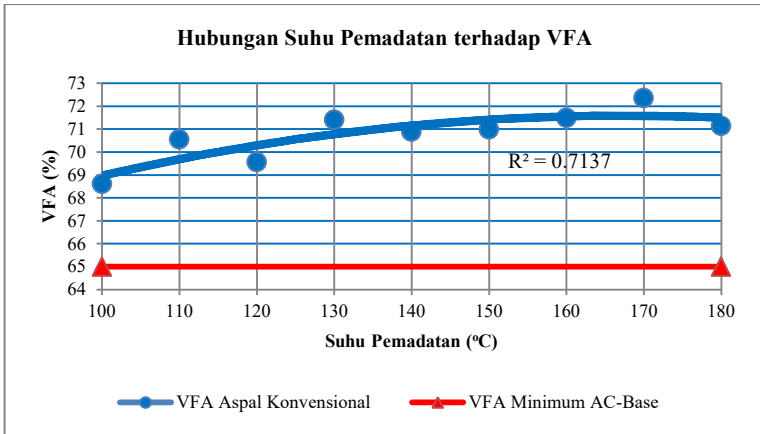
Tabel 4.19 Hasil Uji VFA Aspal Beton Konvensional Suhu Pemadatan 100°C

Suhu Pemadatan	Kode	VFA	Rata-rata VFA
°C		%	%
100	AK 1 1	70.51	68.61
	AK 1 2	67.27	
	AK 1 3	69.91	
	AK 1 4	67.27	
	AK 1 5	68.11	

Hasil uji kepadatan aspal beton konvensional pada suhu pemadatan lainnya dapat dilihat pada lampiran no. 11 halaman 164. Rekapitulasi nilai VFA rata-rata 5 benda uji dari tiap variasi suhu pemadatan dapat dilihat pada tabel 4.20 dan grafik pengaruh suhu pemadatan terhadap VFA dapat dilihat pada gambar 4.10 sebagai berikut:

Tabel 4.20 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji VFA

Suhu Pemadatan	Rata-rata VFA
°C	%
100	68.61
110	70.56
120	69.56
130	71.41
140	70.88
150	70.98
160	71.49
170	72.35
180	71.14



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Suhu Pemadatan terhadap VFA

Dari grafik hubungan suhu pemadatan terhadap VFA pada pengujian aspal konvensional dengan variasi suhu pemadatan menunjukkan data seiring dengan peningkatan suhu pemadatan maka nilai VFA cenderung meningkat. Semua nilai VFA pengujian suhu pemadatan yang dilakukan memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2010 yang mensyaratkan nilai VFA minimum 65% untuk AC-Base. Nilai VFA tertinggi pada suhu 170°C sebesar 72.35% dan terendah pada suhu 100°C sebesar 68.61%. Nilai *R square* (R^2) yang menunjukkan angka 0.7137 dan masuk pada rentang $0,50 < R^2 \leq 0,75$ menandakan hubungan kuat antara hubungan suhu pemadatan aspal konvensional terhadap VFA.

Nilai VFA mengalami peningkatan semakin tingginya suhu pemadatan, dikarenakan pada suhu pemadatan yang rendah aspal beton memiliki pori-pori dalam jumlah yang banyak atau biasa disebut porus yang menyebabkan kemampuan menyerap air dan oksigennya terlalu tinggi dan terjadi oksidasi. Nilai VFA mengalami peningkatan pada 115°C sebesar 68.04%, 125°C sebesar 69.05%, 135°C sebesar 71.18%, 145°C sebesar 74.12%, dan 155°C sebesar 75.25% (Budi Raharjo, dkk, 2016).

Penelitian ini memperkuat teori dan penelitian terdahulu mengenai VFA. Nilai VFA yang tinggi pada suhu pemadatan tinggi menyebabkan aspal dapat mengisi rongga aspal beton. Pori-pori aspal beton menjadi sedikit sehingga menjadi kedap air untuk menghindari proses oksidasi berlebihan.

4.2.5 Stabilitas

Menurut Silvia Sukirman (2003), stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk seperti bergelombang, beralur, dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut. Sesuai hasil uji Marshall, didapat nilai stabilitas suhu pemadatan 100°C tercantum dalam tabel 4.21 sebagai berikut:

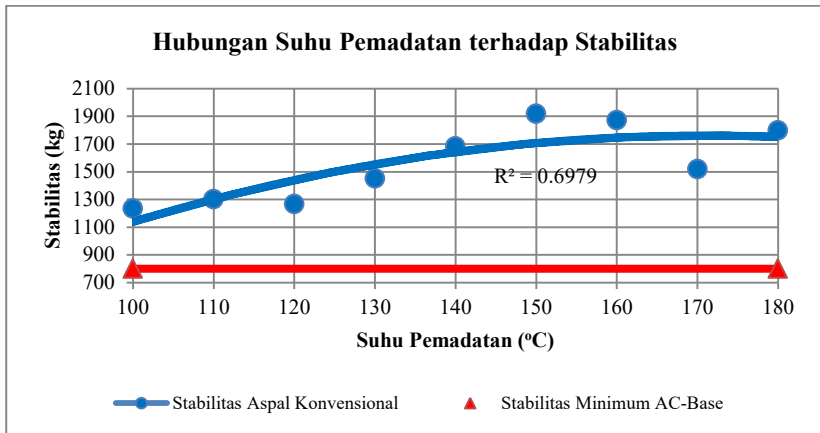
Tabel 4.21 Hasil Uji Stabilitas Aspal Beton Konvensional Suhu Pemadatan 100°C

Suhu Pemadatan	Kode	Stabilitas	Rata-rata Stabilitas
°C		kg	kg
100	AK 1 1	1107.80	1233.51
	AK 1 2	1122.38	
	AK 1 3	1265.55	
	AK 1 4	1236.69	
	AK 1 5	1435.13	

Hasil uji kepadatan aspal beton konvensional pada suhu pemadatan lainnya dapat dilihat pada lampiran no. 12 halaman 166. Dari 5 benda uji dari setiap variasi suhu pemadatan didapatkan masing-masing nilai stabilitas dan rekapitulasi nilai stabilitas rata-rata dapat dilihat pada tabel 4.22 dan grafik pengaruh suhu pemadatan terhadap stabilitas dapat dilihat pada gambar 4.11 sebagai berikut:

Tabel 4.22 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji Stabilitas

Suhu Pematatan	Rata-rata Stabilitas
°C	kg
100	1233.51
110	1300.73
120	1267.69
130	1451.64
140	1682.77
150	1918.61
160	1872.05
170	1518.66
180	1798.59

**Gambar 4.11** Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap Stabilitas

Dari gambar 4.11, grafik hubungan suhu pemadatan terhadap nilai stabilitas aspal konvensional cenderung mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan suhu pemadatan. Stabilitas tertinggi didapat pada suhu pemadatan 150°C dengan stabilitas sebesar 1918.61 kg dan terendah pada suhu 100°C sebesar 1233.51 kg. Sesuai dengan aturan spesifikasi umum Bina Marga 2010 yang mensyaratkan AC-Base memiliki stabilitas minimal 800 kg, maka seluruh pengujian pengaruh suhu pemadatan memenuhi spesifikasi. Pada penelitian ini R^2 untuk stabilitas yaitu 0.6979 yang terletak pada rentang $0,50 < R^2 \leq 0,75$ sehingga hubungan antara suhu pemadatan dan stabilitas adalah kuat.

Menurut Budi Raharjo, dkk (2016), pada penelitiannya melakukan pemadatan pada suhu 115°C, 125°C, 135°C, 145°C, dan 155°C. Stabilitas mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan suhu pemadatan, dengan stabilitas tertinggi pada suhu 155°C sebesar 1320.57 kg dan terendah pada suhu 115°C sebesar 897.89 kg. Suhu pemadatan tinggi mengakibatkan aspal beton mengalami pemadatan optimal sehingga antar partikel dapat mengunci satu dengan yang lain untuk meningkatkan daya ikat.

Penelitian ini memperkuat teori dan penelitian sebelumnya mengenai pengaruh suhu pemadatan terhadap stabilitas aspal beton. Suhu pemadatan yang tinggi menyebabkan aspal beton memiliki daya ikat yang kuat dari gradasi agregatnya maupun aspalnya. Daya ikat yang kuat ini menyebabkan tingginya penguncian antar partikel yang menjadikan kecilnya pergeseran antar butir agregat.

4.2.6 Pelelehan (*Flow*)

Flow dalam terminologi *Marshall Test* adalah besarnya deformasi vertikal sampel yang terjadi mulai saat awal pembebanan sampai pada kondisi kestabilan mulai menurun. Nilai *flow* dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain kadar dan viskositas aspal, suhu, gradasi, dan jumlah pemadatan (Roberts, 1996). Sesuai hasil uji marshall, didapat nilai *flow* suhu pemadatan 100°C dapat dilihat dalam tabel 4.23 berikut:

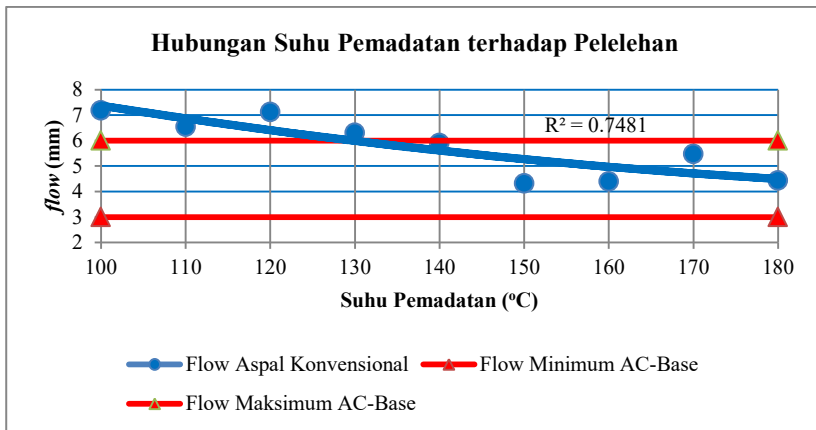
Tabel 4.23 Hasil Uji Pelelehan Aspal Beton Konvensional Suhu Pemadatan 100°C

Suhu Pemadatan	Kode	<i>flow</i>	Rata-rata <i>flow</i>
°C		mm	mm
100	AK 1 1	8.0	7.2
	AK 1 2	7.2	
	AK 1 3	6.7	
	AK 1 4	6.3	
	AK 1 5	7.7	

Selanjutnya hasil uji kepadatan aspal beton konvensional pada suhu pemadatan lainnya dapat dilihat pada lampiran no.13 halaman 168. Dari 5 benda uji dari setiap variasi suhu pemadatan didapatkan masing-masing nilai pelelehan dan rekapitulasi nilai pelelehan rata-rata dapat dilihat pada tabel 4.24 dan grafik pengaruh suhu pemadatan terhadap pelelehan dapat dilihat pada gambar 4.12 sebagai berikut:

Tabel 4.24 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji Pelelehan

Suhu Pematatan	Rata-rata <i>flow</i>
°C	%
100	7.2
110	6.5
120	7.1
130	6.3
140	5.9
150	4.3
160	4.4
170	5.5
180	4.4

**Gambar 4.12** Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap Pelelehan

Dari grafik hubungan suhu pemadatan terhadap pelelehan pada pengujian aspal konvensional dengan variasi suhu pemadatan menunjukkan data seiring dengan peningkatan suhu pemadatan maka nilai pelelehan (*flow*) cenderung menurun. Spesifikasi umum Bina Marga 2010 untuk *AC-Base* mensyaratkan *flow* antara 3 mm – 6 mm, sehingga suhu pemadatan 140°C hingga 180°C yang memenuhi spesifikasi. *Flow* tertinggi pada suhu pemadatan 100°C sebesar 7.2 mm dan terendah pada suhu pemadatan 150°C sebesar 4.3 mm. Nilai *R square* (R^2) yang menunjukkan angka 0.7481 dan masuk pada rentang $0,50 < R^2 \leq 0,75$ menandakan hubungan kuat antara hubungan suhu pemadatan aspal konvensional terhadap pelelehan.

Menurut Budi Raharjo, dkk (2016), pada penelitiannya melakukan variasi suhu pemadatan yaitu 115°C, 125°C, 135°C, 145°C, dan 155°C. *Flow* mengalami penurunan seiring dengan peningkatan suhu pemadatan. *Flow* pada suhu pemadatan 115°C sebesar 5.13 mm, 125°C sebesar 4.80 mm, 135°C sebesar 4.67 mm, 145°C sebesar 4.37 mm, dan 155°C sebesar 4.20 mm. *Flow* memiliki batas atas dan bawah sehingga *flow* yang terlalu tinggi maupun terlalu rendah tidak baik untuk aspal beton.

Penelitian ini mengkonfirmasi teori dan penelitian sebelumnya mengenai hubungan suhu pemadatan aspal konvensional terhadap pelelehan. Nilai *flow* yang terlalu tinggi mengindikasikan campuran yang bersifat plastis dan lebih mampu mengikuti deformasi akibat beban, sedangkan *flow* yang terlalu rendah mengisyaratkan campuran tersebut memiliki rongga tidak terisi aspal yang lebih tinggi dari kondisi normal atau kandungan aspal yang terlalu rendah sehingga berpotensi retak dini dan durabilitas rendah.

4.2.7 Marshall Quotient

Marshall quotient adalah perbandingan dari nilai stabilitas dan pelelehan (*flow*) yang didapat dari pembacaan hasil uji marshall. Nilai MQ menyatakan sifat kekakuan suatu campuran (Sukirman, S. , 2003). Sesuai perhitungan dan hasil uji, didapat nilai *Marshall Quotient* suhu pematadna 100°C dapat dilihat dalam tabel 4.25 sebagai berikut:

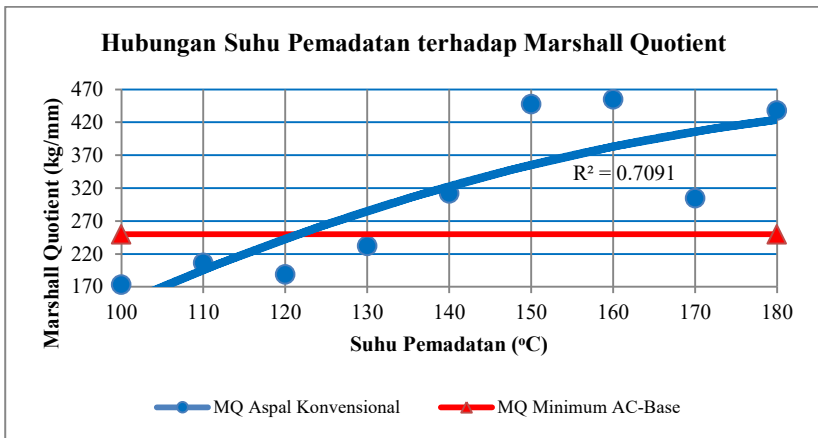
Tabel 4.25 Hasil Uji MQ Aspal Beton Konvensional Suhu Pematadnan 100°C

Suhu Pematadnan	Kode	MQ	Rata-rata MQ
°C		kg/mm	kg/mm
100	AK 1 1	138.48	173.186
	AK 1 2	155.89	
	AK 1 3	188.89	
	AK 1 4	196.3	
	AK 1 5	186.38	

Selanjutnya hasil uji kepadatan aspal beton konvensional pada suhu pematadnan lainnya dapat dilihat pada lampiran no.14 halaman 170. Dari 5 benda uji dari setiap variasi suhu pematadnan didapatkan masing-masing nilai MQ dan rekapitulasi nilai MQ rata-rata dapat dilihat pada tabel 4.26 dan grafik pengaruh suhu pematadnan terhadap MQ dapat dilihat pada gambar 4.13 sebagai berikut:

Tabel 4.26 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji MQ

Suhu Pemasatan	Rata-rata MQ
°C	kg/mm
100	173.19
110	206.53
120	188.83
130	232.48
140	311.88
150	447.80
160	455.13
170	304.80
180	438.19

**Gambar 4.13** Grafik Hubungan Suhu Pemasatan terhadap MQ

Dari gambar 4.13, grafik hubungan suhu pemadatan aspal konvensional terhadap nilai *Marshall Quotient* cenderung meningkat. Nilai *Marshall Quotient* yang memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2010 yaitu pada suhu pemadatan 140°C hingga 180°C dengan minimal 250 kg/mm untuk AC-Base. Nilai *Marshall Quotient* tertinggi terjadi pada suhu pemadatan 150°C sebesar 447.80 kg/mm dan nilai *Marshall Quotient* terendah pada suhu 100°C yaitu 173.19 kg/mm. Nilai *R square* (R^2) yang menunjukkan angka 0.7091 dan masuk pada rentang $0,50 < R^2 \leq 0,75$ menandakan hubungan kuat antara hubungan suhu pemadatan aspal konvensional terhadap MQ.

Menurut Budi Raharjo, dkk (2016), pada penelitiannya melakukan pemadatan pada suhu 115°C, 125°C, 135°C, 145°C, dan 155°C. Nilai *Marshall Quotient* mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan suhu pemadatan, dengan MQ tertinggi pada suhu 155°C sebesar 315.13 kg/mm dan terendah pada suhu 115°C sebesar 175.10 kg/mm. Pada suhu pemadatan 145°C dan 155°C saja yang memenuhi spesifikasi umum Binamarga 2010. MQ meningkat pada suhu tinggi dikarenakan stabilitas naik pada suhu tersebut menyebabkan aspal beton semakin kaku.

Penelitian ini memperkuat dasar teori dan jurnal terdahulu mengenai pengaruh suhu pemadatan terhadap *Marshall Quotient*. Nilai MQ cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya suhu pemadatan. Nilai MQ tinggi pada suhu pemadatan tinggi dikarenakan nilai stabilitas yang dihasilkan tinggi sedangkan untuk nilai *flow* yang dihasilkan rendah.

4.3 Hasil Uji Aspal Beton Modifikasi

Pengujian pada aspal beton modifikasi meliputi pengujian sifat volumetrik campuran aspal beton dan uji Marshall. Pengujian sifat volumetrik terdiri dari VIM, VMA, dan VFA, sedangkan untuk pengujian marshall yang terdiri dari stabilitas, pelepasan (*flow*), dan *marshall quotient*.

4.3.1 Kepadatan (*Density*)

Kepadatan adalah tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan atau berat campuran pada setiap satuan volume. Campuran yang mempunyai nilai kepadatan baik mampu menahan beban yang lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang memiliki kepadatan rendah (Sukirman S. , 2003). Sesuai perhitungan dan hasil uji, diperoleh kepadatan campuran aspal beton modifikasi suhu pemadatan 100°C dapat dilihat pada tabel 4.27 berikut:

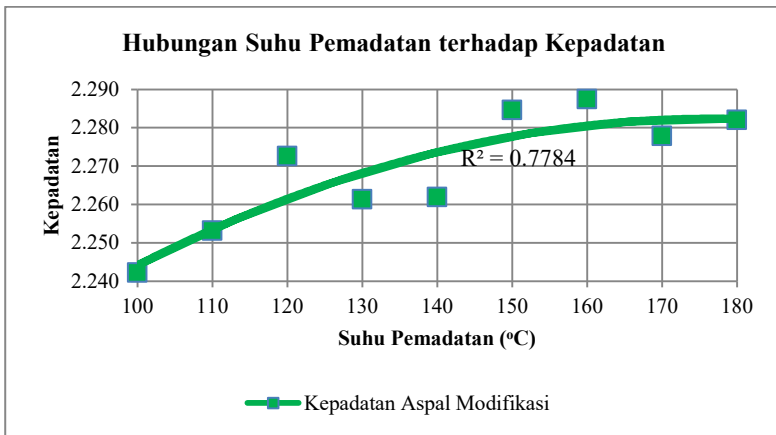
Tabel 4.27 Hasil Uji Kepadatan Aspal Beton Modifikasi Suhu Pemadatan 100°C

Suhu Pemadatan °C	Kode	Berat			Kepadatan	Rata-rata Kepadatan
		Kering gram	Dalam Air gram	SSD gram		
100	AM 1 1	1182	682	1202	2.273	2.242
	AM 1 2	1180	674	1204	2.226	
	AM 1 3	1172	670	1194	2.237	
	AM 1 4	1178	682	1206	2.248	
	AM 1 5	1176	680	1208	2.227	

Selanjutnya hasil uji kepadatan aspal beton konvensional pada suhu pemadatan lainnya dapat dilihat pada lampiran no.15 halaman 172. Rekapitulasi nilai kepadatan rata-rata dari 5 benda uji setiap suhu pemadatan dapat dilihat pada tabel 4.28 dan grafik pengaruh suhu pemadatan terhadap kepadatan dapat dilihat pada gambar 4.14 sebagai berikut:

Tabel 4.28 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji Kepadatan

Suhu Pemadatan	Rata-rata Kepadatan
°C	
100	2.242
110	2.253
120	2.273
130	2.261
140	2.262
150	2.285
160	2.288
170	2.278
180	2.282

**Gambar 4.14** Grafik Hubungan Suhu Pemadatan terhadap Kepadatan

Dari gambar 4.14, grafik hubungan suhu pemadatan aspal modifikasi terhadap kepadatan cenderung naik seiring meningkatnya suhu pemadatan. Pada suhu pemadatan yang tinggi menyebabkan aspal beton mengalami pemadatan optimal sehingga meningkatnya nilai kepadatan. Pada suhu rendah, aspal beton memiliki banyak rongga yang tidak dapat terisi aspal maupun agregat akibat tidak mengalami pemadatan yang optimal sehingga kurang padat. Nilai R square (R^2) pada grafik ini adalah 0.7784 masuk pada rentang $0,75 < R^2 \leq 0,99$ sehingga hubungan antara suhu pemadatan terhadap kepadatan adalah sangat kuat.

4.3.2 Rongga dalam campuran (VIM)

Void in mix (VIM) adalah volume rongga yang masih tersisa setelah campuran aspal beton dipadatkan. VIM dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas dan tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur (Sukirman S., 2013). Sesuai perhitungan dan hasil uji, diperoleh nilai VIM aspal beton modifikasi suhu pemadatan 100°C dapat dilihat pada tabel 4.29 berikut:

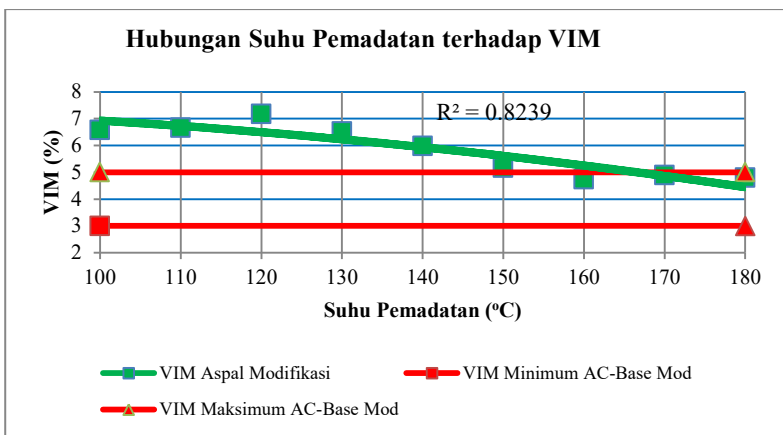
Tabel 4.29 Hasil Uji VIM Aspal Beton Modifikasi Suhu Pemadatan 100°C

Suhu Pemadatan	Kode	VIM	Rata Rata VIM
°C		%	%
100	AM 1 1	5.34	6.58
	AM 1 2	7.32	
	AM 1 3	7.24	
	AM 1 4	8.79	
	AM 1 5	4.20	

Selanjutnya hasil uji kepadatan aspal beton konvensional pada suhu pemadatan lainnya dapat dilihat pada lampiran no.16 halaman 174. Dari 5 benda uji dari setiap variasi suhu pemadatan didapatkan masing-masing nilai VIM dan rekapitulasi nilai VIM rata-rata dapat dilihat pada tabel 4.30 dan grafik pengaruh suhu pemadatan terhadap VIM dapat dilihat pada gambar 4.15 sebagai berikut:

Tabel 4.30 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji VIM

Suhu Pemadatan	Rata-rata VIM
°C	%
100	6.58
110	6.66
120	7.18
130	6.52
140	5.98
150	5.18
160	4.74
170	4.90
180	4.80



Gambar 4.15 Grafik Hubungan Suhu Pemadatan terhadap VIM

Dari gambar 4.15, grafik menunjukkan VIM atau volume rongga dalam campuran aspal beton pada pengujian aspal modifikasi dengan variasi suhu pemadatan cenderung menurun seiring meningkatnya suhu pemadatan. Spesifikasi umum Bina Marga 2010 untuk AC-Base memiliki syarat minimum 3% dan maksimum 5%, sehingga pada pengujian ini hanya pada suhu pemadatan 160°C hingga 180°C yang memenuhi. Nilai *R square* (R^2) pada penelitian ini yaitu 0.8239 masuk dalam rentang $0,75 < R^2 \leq 0,99$ sehingga hubungan suhu pemadatan terhadap VIM sangat kuat.

Menurut Imam Aschuri & Rizal Rahman (2013), penelitian yang dilakukan pada variasi suhu pemadatan 90°C, 100°C, 110°C, 120°C, 130°C, 140°C, 150°C, dan 160°C menunjukkan nilai VMA mengalami penurunan seiring meningkatnya suhu pemadatan. Suhu memenuhi atau tidaknya sampel dikarenakan nilai VIM yang berubah seiring dengan perubahan suhu pemadatan. Semakin tinggi suhu pemadatan maka nilai VIM akan semakin menurun atau kecil. Hal ini dikarenakan pada suhu pemadatan rendah aspal sulit menyelimuti agregat sehingga aspal dan agregat tidak dapat tercampur secara homogen.

Penelitian ini mengkonfirmasi penelitian sebelumnya dan penjelasan dasar teori mengenai VIM. Pada suhu rendah VIM tidak memenuhi spesifikasi dikarenakan nilai VIM yang tinggi dan melewati batas maksimum. Nilai VIM yang tinggi pada suhu pemadatan rendah dikarenakan aspal sulit menyelimuti agregat sehingga campuran aspal dan agregat tidak dapat homogen. Nilai VIM yang tinggi berpengaruh terhadap lemahnya kedekatan terhadap air dan udara.

4.3.3 Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)

Menurut Silvia Sukirman (2003), *Void in mineral aggregate* (VMA) adalah volume rongga di antara partikel agregat dalam campuran yang telah dipadatkan, termasuk rongga yang terisi oleh aspal yang dinyatakan dalam persentase terhadap volume total campuran. VMA dihitung berdasarkan berat jenis agregat curah dan dinyatakan dalam persentase dari volume curah campuran padat. Sesuai perhitungan dan hasil uji, diperoleh nilai VMA suhu pemadatan 100°C dapat dilihat dalam tabel 4.31 sebagai berikut:

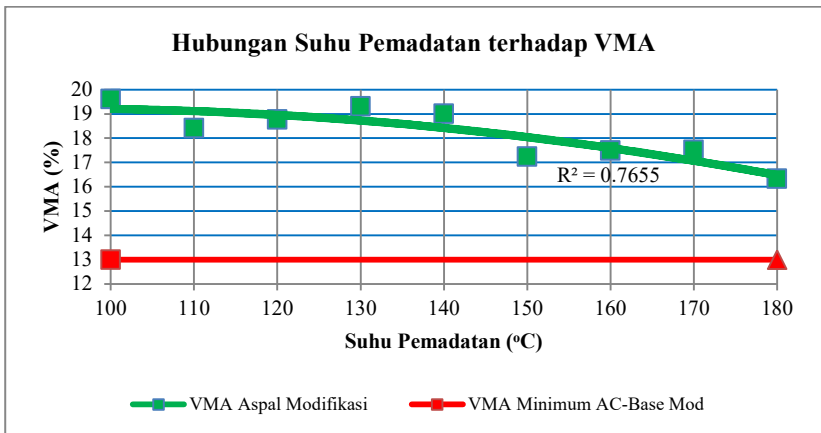
Tabel 4.31 Hasil Uji VMA Aspal Beton Modifikasi Suhu Pemadatan 100°C

Suhu Pemadatan	Kode	VMA	Rata-rata VMA
°C		%	%
100	AM 1 1	16.80	19.61
	AM 1 2	20.90	
	AM 1 3	18.59	
	AM 1 4	20.20	
	AM 1 5	21.56	

Selanjutnya hasil uji kepadatan aspal beton konvensional pada suhu pemadatan lainnya dapat dilihat pada lampiran no.17 halaman 176. Dari 5 benda uji dari setiap variasi suhu pemadatan didapatkan masing-masing nilai VMA dan rekapitulasi nilai VMA rata-rata dapat dilihat pada tabel 4.32 dan grafik pengaruh suhu pemadatan terhadap VMA dapat dilihat pada gambar 4.16 sebagai berikut:

Tabel 4.32 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji VMA

Suhu Pematatan	Rata-rata VMA
°C	%
100	19.61
110	18.41
120	18.77
130	19.30
140	19.01
150	17.24
160	17.48
170	17.52
180	16.32

**Gambar 4.16** Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap VMA

Dari grafik hubungan suhu pemadatan terhadap VMA pada pengujian aspal beton modifikasi dengan variasi suhu pemadatan menghasilkan data seiring dengan peningkatan suhu pemadatan maka nilai VMA cenderung menurun. Semua nilai VMA pengujian variasi suhu pemadatan memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2010 yaitu minimum 13% untuk *AC-Base*. Nilai VMA tertinggi pada suhu 130°C sebesar 19.30% dan terendah pada suhu 180°C sebesar 16.32%. Nilai *R square* (R^2) pada penelitian ini yaitu 0.7655 masuk dalam rentang $0,75 < R^2 \leq 0,99$ sehingga hubungan suhu pemadatan terhadap VMA sangat kuat.

Menurut Imam Aschuri & Rizal Rahman (2013), penelitian yang dilakukan pada variasi suhu pemadatan 90°C, 100°C, 110°C, 120°C, 130°C, 140°C, 150°C, dan 160°C menunjukkan nilai VMA mengalami penurunan seiring meningkatnya suhu pemadatan. Nilai VMA yang rendah pada suhu pemadatan tinggi dikarenakan aspal beton modifikasi mengalami pemadatan yang optimal sehingga aspal dan plastik dapat mengisi rongga. Rongga yang sedikit mengakibatkan butiran antar agregat menjadi lekat dan tidak mudah lepas.

Hasil penelitian ini memperkuat teori dan penelitian terdahulu perihal hubungan VMA dengan variasi suhu pemadatan. Suhu pemadatan tinggi mengakibatkan rongga di antara partikel agregat kecil dan aspal dapat mengisi rongga. Butiran agregat menjadi melekat satu dengan yang lain sehingga agregat tidak mudah lepas dan campuran aspal beton tidak mudah *crack*.

4.3.4 Rongga terisi aspal (VFA)

Void filled with asphalt (VFA) adalah persentase rongga dalam agregat padat yang tersisi aspal (Sukirman S., 2003). Sesuai perhitungan dan hasil uji, diperoleh nilai VFA suhu pemadatan 100°C dapat dilihat dalam tabel 4.33 berikut:

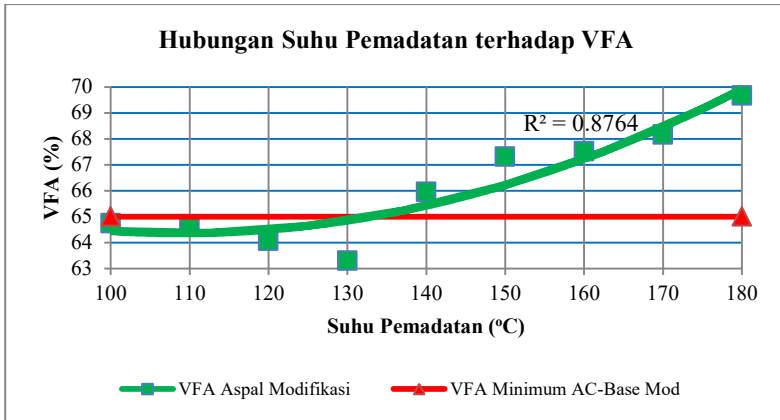
Tabel 4.33 Hasil Uji VFA Aspal Beton Modifikasi Suhu Pemadatan 100°C

Suhu Pemadatan	Kode	VFA	Rata-rata VFA
°C		%	%
100	AM 1 1	62.62	64.75
	AM 1 2	64.06	
	AM 1 3	65.84	
	AM 1 4	64.20	
	AM 1 5	67.03	

Selanjutnya hasil uji kepadatan aspal beton konvensional pada suhu pemadatan lainnya dapat dilihat pada lampiran no.18 halaman 178. Rekapitulasi nilai VFA rata-rata dari 5 benda uji setiap variasi suhu pemadatan dapat dilihat pada tabel 4.34 dan grafik pengaruh suhu pemadatan terhadap VFA dapat dilihat pada gambar 4.17 sebagai berikut:

Tabel 4.34 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji VFA

Suhu Pemadatan	Rata-rata VFA
°C	%
100	64.75
110	64.68
120	64.06
130	63.30
140	65.95
150	67.31
160	67.52
170	68.16
180	69.66



Gambar 4.17 Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap VFA

Dari grafik hubungan suhu pematatan terhadap VFA pada pengujian aspal modifikasi dengan variasi suhu pematatan menunjukkan data seiring dengan peningkatan suhu pematatan maka nilai VFA cenderung meningkat. Semua nilai VFA pengujian suhu pematatan yang dilakukan memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2010 yang mensyaratkan nilai VFA minimum 65% untuk AC-Base. Nilai VFA tertinggi pada suhu 180°C sebesar 69.66% dan terendah pada suhu 130°C sebesar 63.30%. Nilai *R square* (R^2) yang menunjukkan angka 0.8764 dan masuk pada rentang $0,50 < R^2 \leq 0,75$ menandakan hubungan sangat kuat antara hubungan suhu pematatan aspal modifikasi terhadap VFA.

Menurut Imam Aschuri & Rizal Rahman (2013), penelitian yang dilakukan pada variasi suhu pematatan 90°C, 100°C, 110°C, 120°C, 130°C, 140°C, 150°C, dan 160°C menunjukkan nilai VFA mengalami peningkatan seiring meningkatnya suhu pematatan. Hanya pada suhu 130°C, 140°C, 150°C, dan 160°C yang memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2010. Nilai VFA rendah dikarenakan pada suhu pematatan yang rendah aspal beton memiliki pori-pori dalam jumlah yang banyak atau biasa disebut porus yang menyebabkan kemampuan menyerap air dan oksigennya terlalu tinggi dan terjadi oksidasi.

Penelitian ini memperkuat teori dan penelitian terdahulu mengenai VFA. Nilai VFA yang tinggi pada suhu pemadatan tinggi menyebabkan aspal dapat mengisi rongga aspal beton. Pori-pori aspal beton menjadi sedikit sehingga menjadi kedap air untuk menghindari proses oksidasi berlebihan.

4.3.5 Stabilitas

Menurut Silvia Sukirman (2003), stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk seperti bergelombang, beralur, dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut. Sesuai hasil uji Marshall, didapat nilai stabilitas suhu pemadatan 100°C tercantum dalam tabel 4.35 sebagai berikut:

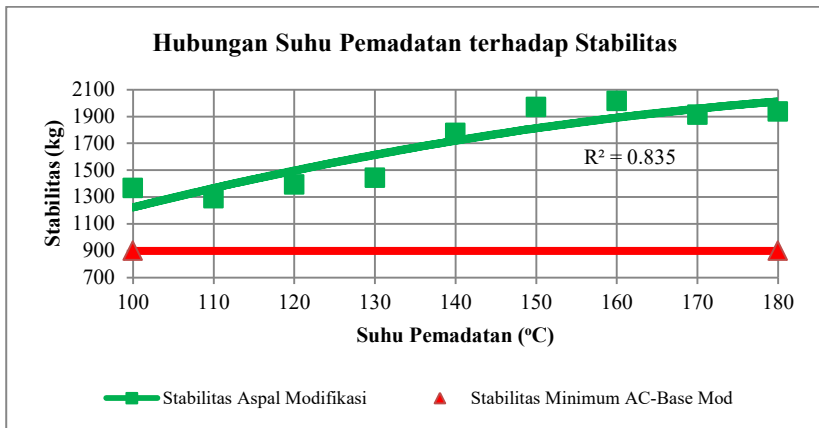
Tabel 4.35 Hasil Uji Stabilitas Aspal Beton Modifikasi Suhu Pemadatan 100°C

Suhu Pemadatan	Kode	Stabilitas	Rata-rata Stabilitas
°C		kg	kg
100	AM 1 1	1639.17	1365.52
	AM 1 2	1358.44	
	AM 1 3	1258.11	
	AM 1 4	1199.27	
	AM 1 5	1372.62	

Selanjutnya hasil uji kepadatan aspal beton konvensional pada suhu pemadatan lainnya dapat dilihat pada lampiran no.19 halaman 180. Dari 5 benda uji dari setiap variasi suhu pemadatan didapatkan masing-masing nilai stabilitas dan rekapitulasi nilai stabilitas rata-rata dapat dilihat pada tabel 4.36 dan grafik pengaruh suhu pemadatan terhadap stabilitas dapat dilihat pada gambar 4.18 sebagai berikut:

Tabel 4.36 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji Stabilitas

Suhu Pemadatan	Rata-rata Stabilitas
°C	kg
100	1365.52
110	1290.45
120	1393.36
130	1442.08
140	1777.24
150	1968.65
160	2014.54
170	1912.04
180	1935.19

**Gambar 4.18** Grafik Hubungan Suhu Pemadatan terhadap Stabilitas

Dari gambar 4.18, grafik hubungan suhu pemadatan terhadap nilai stabilitas aspal modifikasi cenderung mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan suhu pemadatan. Stabilitas tertinggi didapat pada suhu pemadatan 160°C dengan stabilitas sebesar 2014.54 kg dan terendah pada suhu 110°C sebesar 1290.45 kg. Sesuai dengan aturan spesifikasi umum Bina Marga 2010 yang mensyaratkan AC-Base modifikasi memiliki stabilitas minimal 900 kg, maka seluruh pengujian pengaruh suhu pemadatan memenuhi spesifikasi. Pada penelitian ini R^2 untuk stabilitas yaitu 0.835 yang terletak pada rentang $0,75 < R^2 \leq 0,99$ sehingga hubungan antara suhu pemadatan dan stabilitas adalah sangat kuat.

Nilai stabilitas semakin meningkat seiring peningkatan suhu pemadatan. Dari variasi suhu pemadatan mulai dari 90°C , 100°C , 110°C , 120°C , 130°C , 140°C , 150°C , dan 160°C didapat stabilitas terendah pada suhu pemadatan 90°C dan tertinggi pada suhu pemadatan 160°C . Suhu pemadatan tinggi mengakibatkan aspal beton mengalami pemadatan optimal sehingga antar partikel dapat mengunci satu dengan yang lain untuk meningkatkan daya ikat (Aschuri & Rahman, 2013).

Penelitian ini memperkuat teori dan penelitian sebelumnya mengenai pengaruh suhu pemadatan terhadap stabilitas aspal beton. Suhu pemadatan yang tinggi menyebabkan aspal beton memiliki daya ikat yang kuat dari gradasi agregatnya maupun aspalnya. Daya ikat yang kuat ini menyebabkan tingginya penguncian antar partikel yang menjadikan kecilnya pergeseran antar butir agregat.

4.3.6 Pelelehan (*Flow*)

Flow dalam terminologi *Marshall Test* adalah besarnya deformasi vertikal sampel yang terjadi mulai saat awal pembebanan sampai pada kondisi kestabilan mulai menurun. Nilai *flow* dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain kadar dan viskositas aspal, suhu, gradasi, dan jumlah pemadatan (Roberts, 1996). Sesuai hasil uji marshall, didapat nilai *flow* suhu pemadatan 100°C dapat dilihat dalam tabel 4.37 berikut:

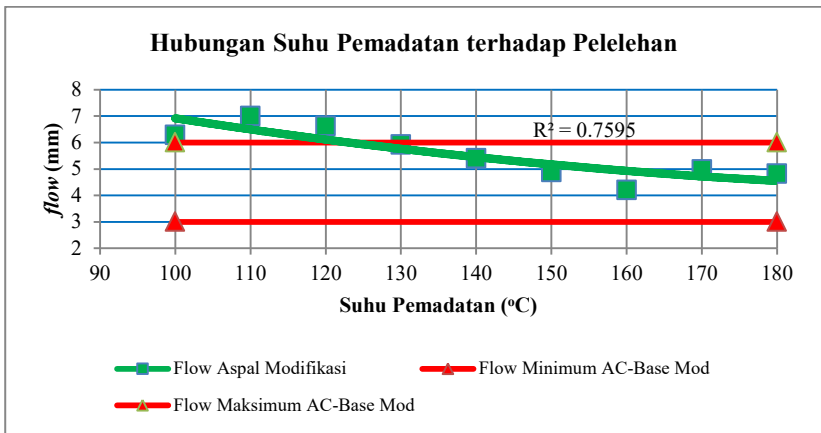
Tabel 4.37 Hasil Uji Pelelehan Aspal Beton Modifikasi Suhu Pemadatan 100°C

Suhu Pemadatan	Kode	<i>flow</i>	Rata-rata <i>flow</i>
°C		mm	mm
100	AM 1 1	4.0	6.28
	AM 1 2	8.2	
	AM 1 3	7.4	
	AM 1 4	7.7	
	AM 1 5	4.1	

Selanjutnya hasil uji kepadatan aspal beton konvensional pada suhu pemadatan lainnya dapat dilihat pada lampiran no.20 halaman 182. Dari 5 benda uji dari setiap variasi suhu pemadatan didapatkan masing-masing nilai pelelehan dan rekapitulasi nilai pelelehan rata-rata dapat dilihat pada tabel 4.38 dan grafik pengaruh suhu pemadatan terhadap pelelehan dapat dilihat pada gambar 4.19 sebagai berikut:

Tabel 4.38 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji Pelelehan

Suhu Pemasatan	Rata-rata <i>flow</i>
°C	%
100	6.3
110	7.0
120	6.6
130	5.9
140	5.4
150	4.9
160	4.2
170	5.0
180	4.8

**Gambar 4.19** Grafik Hubungan Suhu Pemasatan terhadap Pelelehan

Dari grafik hubungan suhu pemadatan terhadap pelelehan pada pengujian aspal modifikasi dengan variasi suhu pemadatan menunjukkan data seiring dengan peningkatan suhu pemadatan maka nilai pelelehan (*flow*) cenderung menurun. Spesifikasi umum Bina Marga 2010 untuk *AC-Base* mensyaratkan *flow* antara 3 mm – 6 mm, sehingga suhu pemadatan 130°C hingga 180°C yang memenuhi spesifikasi. *Flow* tertinggi pada suhu pemadatan 110°C sebesar 7.2 mm dan terendah pada suhu pemadatan 160°C sebesar 4.2 mm. Nilai *R square* (R^2) yang menunjukkan angka 0.7595 dan masuk pada rentang $0,75 < R^2 \leq 0,99$ menandakan hubungan sangat kuat antara hubungan suhu pemadatan aspal modifikasi terhadap pelelehan.

Menurut Imam Aschuri & Rizal Rahman (2013), penelitian yang dilakukan pada variasi suhu pemadatan 90°C, 100°C, 110°C, 120°C, 130°C, 140°C, 150°C, dan 160°C menunjukkan nilai *flow* mengalami penurunan seiring meningkatnya suhu pemadatan. *Flow* memiliki batas atas dan bawah sehingga *flow* yang terlalu tinggi maupun terlalu rendah tidak baik untuk aspal beton.

Penelitian ini mengkonfirmasi teori dan penelitian sebelumnya mengenai hubungan suhu pemadatan aspal modifikasi terhadap pelelehan. Nilai *flow* yang terlalu tinggi mengindikasikan campuran yang bersifat plastis dan lebih mampu mengikuti deformasi akibat beban, sedangkan *flow* yang terlalu rendah mengisyaratkan campuran tersebut memiliki rongga tidak terisi aspal yang lebih tinggi dari kondisi normal atau kandungan aspal yang terlalu rendah sehingga berpotensi retak dini dan durabilitas rendah.

4.3.7 Marshall quotient

Marshall quotient adalah perbandingan dari nilai stabilitas dan pelelehan (*flow*) yang didapat dari pembacaan hasil uji marshall. Nilai MQ menyatakan sifat kekakuan suatu campuran (Sukirman, S. , 2003). Sesuai perhitungan dan hasil uji, didapat nilai *Marshall Quotient* suhu pemadatan 100°C dapat dilihat dalam tabel 4.39 sebagai berikut:

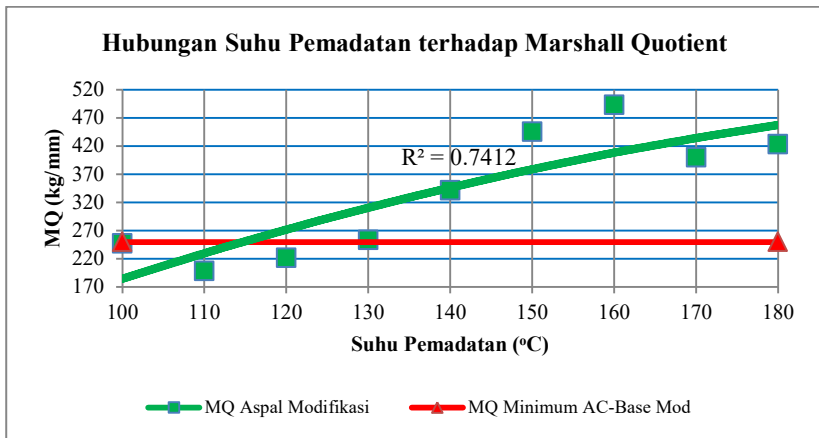
Tabel 4.39 Hasil Uji MQ Aspal Beton Modifikasi Suhu Pemadatan 100°C

Suhu Pemadatan	Kode	MQ	Rata-rata MQ
°C		kg/mm	kg/mm
100	AM 1 1	409.79	247.201
	AM 1 2	165.66	
	AM 1 3	170.01	
	AM 1 4	155.75	
	AM 1 5	334.78	

Selanjutnya hasil uji kepadatan aspal beton konvensional pada suhu pemadatan lainnya dapat dilihat pada lampiran no. 21 halaman 1874. Dari 5 benda uji dari setiap variasi suhu pemadatan didapatkan masing-masing nilai MQ dan rekapitulasi nilai MQ rata-rata dapat dilihat pada tabel 4.40 dan grafik pengaruh suhu pemadatan terhadap MQ dapat dilihat pada gambar 4.20 sebagai berikut:

Tabel 4.40 Rekapitulasi Rata-rata Hasil Uji MQ

Suhu Pematatan	Rata-rata MQ
°C	kg/mm
100	247.20
110	198.21
120	221.86
130	253.59
140	341.42
150	445.11
160	492.67
170	399.97
180	423.31

**Gambar 4.20** Grafik Hubungan Suhu Pematatan terhadap MQ

Dari gambar 4.40, grafik hubungan suhu pemadatan aspal modifikasi terhadap nilai *Marshall Quotient* cenderung meningkat. Nilai *Marshall Quotient* yang memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2010 yaitu pada suhu pemadatan 130°C hingga 180°C dengan minimal 250 kg/mm untuk AC-Base. Nilai *Marshall Quotient* tertinggi terjadi pada suhu pemadatan 160°C sebesar 492.67 kg/mm dan nilai *Marshall Quotient* terendah pada suhu 110°C yaitu 198.21 kg/mm. Nilai *R square* (R^2) yang menunjukkan angka 0.7412 dan masuk pada rentang $0,50 < R^2 \leq 0,75$ menandakan hubungan kuat antara hubungan suhu pemadatan aspal modifikasi terhadap MQ.

Menurut Budi Raharjo, dkk (2016), pada penelitiannya melakukan pemadatan pada suhu 115°C, 125°C, 135°C, 145°C, dan 155°C. Nilai *Marshall Quotient* mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan suhu pemadatan, dengan MQ tertinggi pada suhu 155°C sebesar 315.13 kg/mm dan terendah pada suhu 115°C sebesar 175.10 kg/mm. Pada suhu pemadatan 145°C dan 155°C saja yang memenuhi spesifikasi umum Binamarga 2010. MQ meningkat pada suhu tinggi dikarenakan stabilitas naik pada suhu tersebut menyebabkan aspal beton semakin kaku.

Penelitian ini memperkuat dasar teori dan jurnal terdahulu mengenai pengaruh suhu pemadatan terhadap *Marshall Quotient*. Nilai MQ cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya suhu pemadatan. Nilai MQ tinggi pada suhu pemadatan tinggi dikarenakan nilai stabilitas yang dihasilkan tinggi sedangkan untuk nilai *flow* yang dihasilkan rendah.

4.4 Penentuan Suhu Minimum dan Optimum Pematatan

Pengujian volumetrik dan marshall yang telah dilakukan pada aspal beton konvensional dan modifikasi mendapatkan hasil berupa suhu pematatan minimum dan optimum. Rekapitulasi pengujian marshall aspal beton konvensional dapat dilihat pada tabel 4.41 dan tabel 4.42 untuk rekapitulasi pengujian marshall aspal beton modifikasi sebagai berikut:

Tabel 4.41 Rekapitulasi Hasil Uji Marshall Aspal Beton Konvensional

Parameter	Spesifikasi	Suhu Pematatan (°C)								
		100	110	120	130	140	150	160	170	180
Kepadatan		2.266	2.256	2.311	2.280	2.267	2.300	2.320	2.316	2.329
VIM (%)	3 - 5	6.19	6.38	5.47	5.26	4.38	3.95	4.73	4.92	4.51
VMA (%)	≥ 13	17.69	17.59	18.36	18.49	17.83	16.91	16.19	16.36	15.89
VFA(%)	≥ 65	68.61	70.56	69.56	71.41	70.88	70.98	71.49	72.35	71.14
Stabilitas (kg)	≥ 800	1233.51	1300.73	1267.69	1451.64	1682.77	1918.61	1872.05	1518.66	1798.59
Pelehan (mm)	3 - 6	7.18	6.54	7.12	6.30	5.90	4.32	4.40	5.48	4.44
MQ (kg/mm)	≥ 250	173.19	206.53	188.83	232.48	311.88	447.80	455.13	304.80	438.19

Dari tabel 4.41 dapat dilihat bahwa parameter marshall aspal beton konvensional suhu pematatan 140°C memenuhi semua spesifikasi umum Bina Marga 2010, sehingga dijadikan suhu pematatan minimum. Suhu pematatan optimum *AC-Base* konvensional adalah 150°C dikarenakan stabilitas tertinggi terjadi pada suhu tersebut dan semua parameter marshall memenuhi spesifikasi.

Tabel 4.42 Rekapitulasi Hasil Uji Marshall Aspal Beton Modifikasi

Parameter	Spesifikasi	Suhu Pematatan (°C)								
		100	110	120	130	140	150	160	170	180
Kepadatan		2.242	2.253	2.273	2.261	2.262	2.285	2.288	2.278	2.282
VIM (%)	3 - 5	6.58	6.66	7.18	6.52	5.98	5.18	4.74	4.90	4.80
VMA (%)	≥ 13	19.61	18.41	18.77	19.30	19.01	17.24	17.48	17.52	16.32
VFA(%)	≥ 65	64.75	64.68	64.06	63.30	65.95	67.31	67.52	68.16	69.66
Stabilitas (kg)	≥ 900	1365.52	1290.45	1393.36	1442.08	1777.24	1968.65	2014.54	1912.04	1935.19
Pelehan (mm)	3 - 6	6.28	7.00	6.62	5.92	5.40	4.88	4.20	4.98	4.82
MQ (kg/mm)	≥ 250	247.20	198.21	221.86	253.59	341.42	445.11	492.67	399.97	423.31

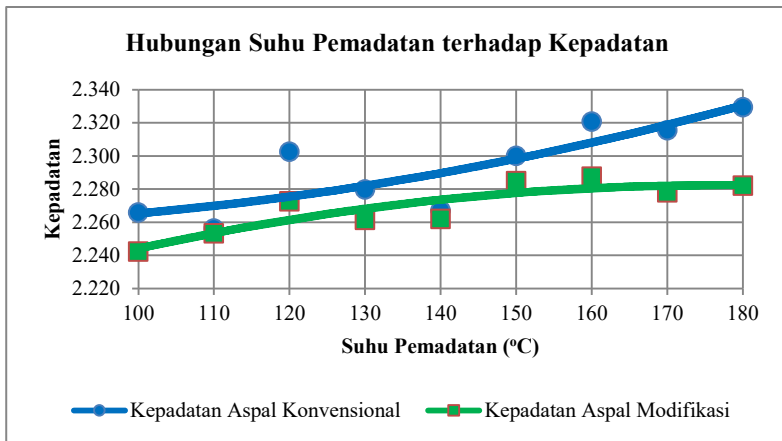
Dari tabel 4.42 dapat dilihat bahwa parameter marshall aspal beton modifikasi suhu pemadatan 160°C memenuhi semua spesifikasi umum Bina Marga 2010, sehingga dijadikan suhu pemadatan minimum. Suhu pemadatan 160°C sekaligus menjadi suhu pemadatan optimum *AC-Base* modifikasi dikarenakan stabilitas tertinggi terjadi pada suhu tersebut dan semua parameter marshall memenuhi spesifikasi.

4.5 Perbandingan Hasil Uji Aspal Beton Konvensional dan Modifikasi

Perbandingan dilakukan untuk mengetahui perbedaan karakteristik uji Marshall antara aspal konvensional dan aspal modifikasi yang dipengaruhi oleh variasi suhu pemadatan.

4.5.1 Kepadatan (*Density*)

Perbandingan kepadatan aspal konvensional dengan aspal modifikasi dapat dilihat pada gambar 4.21 berikut



Gambar 4.21 Grafik Hubungan Suhu Pemadatan terhadap Kepadatan

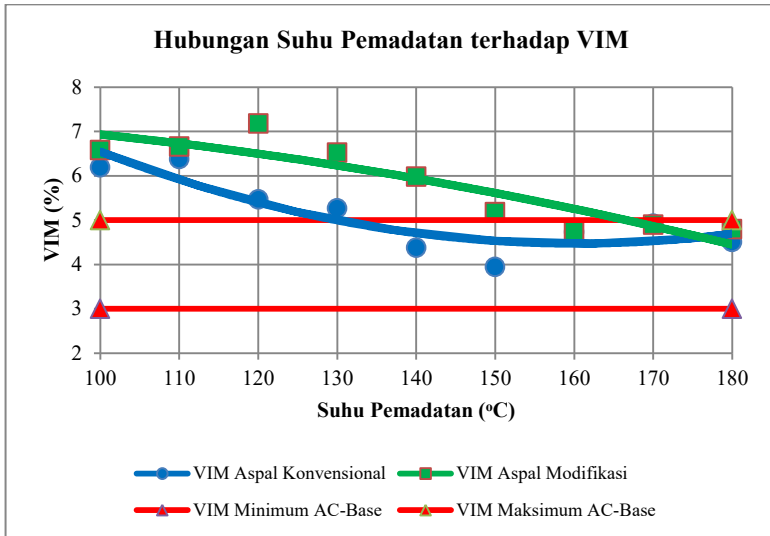
Dari Gambar 4.21 ditunjukkan bahwa baik aspal konvensional maupun aspal modifikasi memiliki kepadatan yang semakin meningkat seiring dengan peningkatan suhu pemadatan. Aspal konvensional memiliki nilai kepadatan yang lebih tinggi dibanding aspal modifikasi.

Nilai kepadatan campuran aspal beton tanpa penambahan plastik lebih tinggi daripada campuran yang menggunakan bahan tambah plastik. Hal ini disebabkan ketika dicampur dengan aspal pada suhu pencampuran 170°C, plastik yang ditambahkan melengkung, tetapi tidak mencair dan masih berupa serat-serat halus. Plastik ikut terselimuti aspal dan mengurangi kadar aspal yang seharusnya mengisi rongga dalam campuran. Semakin sedikit rongga yang terisi oleh aspal sehingga kadar pori dalam campuran semakin tinggi, sehingga campuran dengan plastik menjadi kurang pampat daripada yang tanpa plastik (Purnamasari & Suryaman, 2010).

Penelitian ini memperkuat dasar teori dan jurnal terdahulu mengenai perbandingan nilai kepadatan aspal konvensional dan aspal modifikasi. Plastik pada campuran aspal beton modifikasi menghalangi aspal untuk mengisi rongga dalam campuran sehingga aspal beton kurang padat.

4.5.2 Rongga Dalam Campuran (VIM)

Perbandingan *void in mix* (VIM) aspal konvensional dengan aspal modifikasi dapat dilihat pada gambar 4.22 berikut:



Gambar 4.22 Grafik Hubungan Suhu Pemadatan terhadap VIM

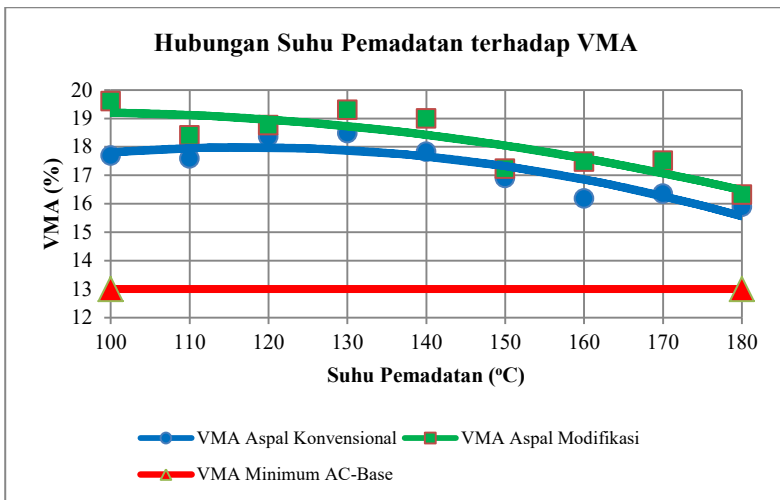
Dari Gambar 4.22 menunjukkan nilai VIM aspal konvensional dan aspal modifikasi semakin menurun seiring dengan peningkatan suhu pemadatan. Aspal modifikasi memiliki nilai VIM yang lebih tinggi dibanding aspal konvensional.

Nilai VIM campuran aspal beton dengan penambahan plastik lebih tinggi daripada campuran yang tidak menggunakan bahan tambah plastik. Hal ini disebabkan plastik yang ditambahkan menghalangi kadar aspal yang seharusnya mengisi rongga dalam campuran. Semakin banyak rongga yang tidak terisi oleh aspal mengakibatkan pori-pori dalam campuran semakin banyak, sehingga campuran aspal modifikasi tidak kedap air dan udara yang dapat terjadi proses oksidasi yang menjadikan aspal beton menjadi *crack* (Purnamasari & Suryaman, 2010).

Penelitian ini mengkonfirmasi dasar teori dan jurnal terdahulu mengenai perbandingan nilai VIM aspal konvensional dan aspal modifikasi. Plastik pada campuran aspal beton modifikasi menghalangi aspal untuk mengisi rongga dalam campuran sehingga aspal beton kurang kedap terhadap air maupun udara.

4.5.3 Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)

Perbandingan *void in mineral agregat* (VMA) aspal konvensional dengan aspal modifikasi dapat dilihat pada gambar 4.23 berikut:



Gambar 4.23 Grafik Hubungan Suhu Pemadatan terhadap VMA

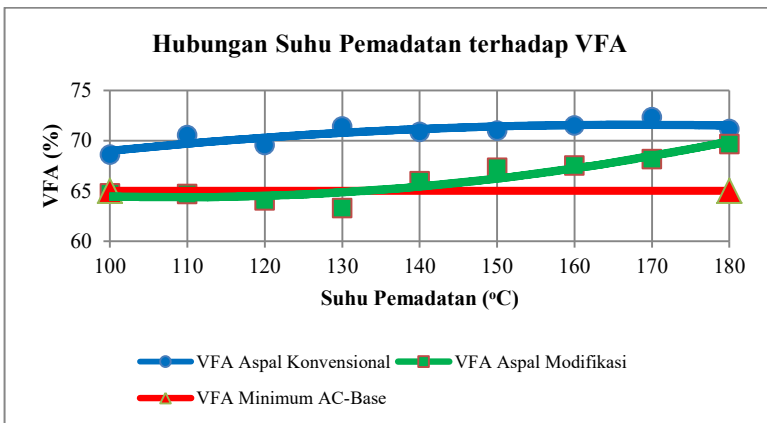
Dari Gambar 4.23 menunjukkan nilai VMA aspal konvensional dan aspal modifikasi semakin menurun seiring dengan peningkatan suhu pemadatan. Aspal modifikasi memiliki nilai VMA yang lebih tinggi dibanding aspal konvensional.

Nilai VMA campuran aspal beton dengan penambahan plastik lebih tinggi daripada campuran yang tidak menggunakan bahan tambah plastik. Hal ini disebabkan plastik yang ditambahkan menghalangi kadar aspal yang seharusnya mengisi rongga dalam campuran. Semakin banyak rongga yang tidak terisi oleh aspal mengakibatkan pori-pori dalam campuran semakin banyak, Rongga yang banyak mengakibatkan butiran antar agregat menjadi tidak lekat dan mudah lepas (Derina Septia, 2018).

Penelitian ini membenarkan dasar teori dan jurnal terdahulu mengenai perbandingan nilai VMA aspal konvensional dan aspal modifikasi. Plastik pada campuran aspal beton modifikasi mengurangi kadar aspal untuk mengisi rongga dalam campuran sehingga aspal beton memiliki banyak rongga yang mengakibatkan butiran antar agregat menjadi tidak lekat dan mudah lepas.

4.5.4 Rongga Terisi Aspal (VFA)

Perbandingan *void filled with asphalt* (VFA) aspal konvensional dengan aspal modifikasi dapat dilihat pada gambar 4.24 berikut



Gambar 4.24 Grafik Hubungan Suhu Pemadatan terhadap VFA

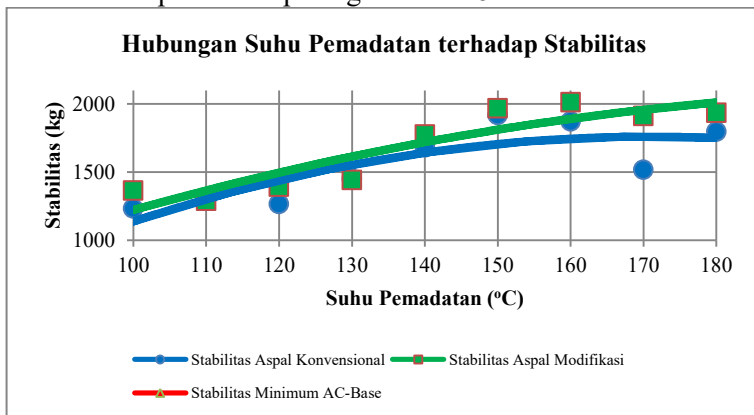
Dari Gambar 4.24 menunjukkan nilai VFA aspal konvensional dan aspal modifikasi semakin meningkat seiring dengan peningkatan suhu pemadatan. Aspal konvensional memiliki nilai VFA yang lebih tinggi dibanding aspal modifikasi.

Nilai VFA campuran aspal beton tanpa penambahan plastik lebih tinggi daripada campuran yang menggunakan bahan tambah plastik. Hal ini disebabkan plastik yang ditambahkan menghalangi kadar aspal yang seharusnya mengisi rongga dalam campuran. Semakin banyak rongga yang tidak terisi oleh aspal mengakibatkan pori-pori dalam campuran semakin banyak yang mengakibatkan aspal beton menjadi porus (Purnamasari & Suryaman, 2010).

Penelitian ini memperkuat dasar teori dan jurnal terdahulu mengenai perbandingan nilai VFA aspal konvensional dan aspal modifikasi. Plastik pada campuran aspal beton modifikasi menghalangi aspal untuk mengisi rongga dalam campuran sehingga aspal beton kurang kedap terhadap air maupun udara.

4.5.5 Stabilitas

Perbandingan stabilitas aspal konvensional dengan aspal modifikasi dapat dilihat pada gambar 4.25 berikut



Gambar 4.25 Grafik Hubungan Suhu Pemadatan terhadap Stabilitas

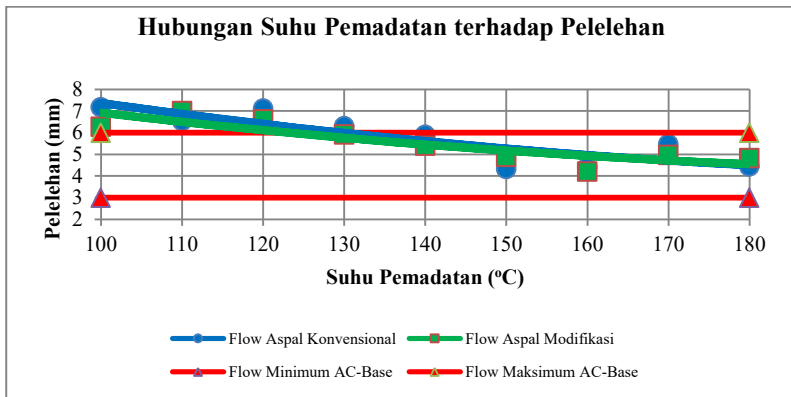
Dari Gambar 4.25 menunjukkan nilai stabilitas aspal konvensional dan aspal modifikasi semakin meningkat seiring dengan peningkatan suhu pemadatan. Aspal modifikasi memiliki nilai stabilitas yang lebih tinggi dibanding aspal konvensional.

Nilai stabilitas campuran aspal beton dengan penambahan plastik lebih tinggi daripada campuran yang tidak menggunakan bahan tambah plastik. Hal ini disebabkan plastik yang ditambahkan berbentuk serat bersudut dan agregat yang terselimuti aspal saling mengunci dengan baik. Posisi agregat tidak mudah bergeser dari tempatnya ketika diberi beban, sehingga stabilitasnya meningkat (Purnamasari & Suryaman, 2010).

Penelitian ini memperkuat dasar teori dan jurnal terdahulu mengenai perbandingan nilai stabilitas aspal konvensional dan aspal modifikasi. Karakteristik plastik yang bersudut mengakibatkan agregat, aspal, dan plastik mengunci dengan baik sehingga tidak mudah bergeser ketika diberi beban.

4.5.6 Pelelehan (*Flow*)

Perbandingan pelelehan aspal konvensional dengan aspal modifikasi dapat dilihat pada gambar 4.26 berikut



Gambar 4.26 Grafik Hubungan Suhu Pemadatan terhadap Pelelehan

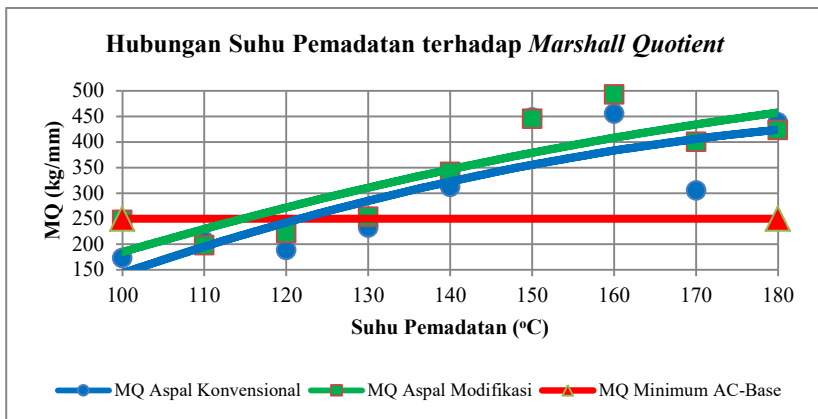
Dari Gambar 4.26 menunjukkan nilai *flow* aspal konvensional dan aspal modifikasi semakin menurun seiring dengan peningkatan suhu pemadatan. Aspal konvensional memiliki nilai *flow* yang lebih tinggi dibanding aspal modifikasi.

Nilai pelelehan campuran aspal beton tanpa penambahan plastik lebih tinggi daripada campuran yang menggunakan bahan tambah plastik. Hal ini disebabkan kadar aspal pada aspal konvensional lebih banyak dibanding aspal modifikasi. Kadar aspal yang lebih banyak mengakibatkan aspal beton menjadi lunak dan meningkatkan nilai pelelehan (Purnamasari & Suryaman, 2010).

Penelitian ini mengkonfirmasi dasar teori dan jurnal terdahulu mengenai perbandingan nilai pelelehan (*flow*) aspal konvensional dan aspal modifikasi. Kadar aspal yang lebih banyak pada aspal konvensional menjadikan aspal beton menjadi lebih lunak dan lebih dapat menerima deformasi vertikal.

4.5.7 Marshall quotient

Perbandingan *marshall quotient* (MQ) aspal konvensional dengan aspal modifikasi dapat dilihat pada gambar 4.27 berikut



Gambar 4.27 Grafik Hubungan Suhu Pemadatan terhadap MQ

Dari Gambar 4.27 menunjukkan nilai MQ aspal konvensional dan aspal modifikasi semakin meningkat seiring dengan peningkatan suhu pemadatan. Aspal modifikasi memiliki nilai MQ yang lebih tinggi dibanding aspal konvensional.

Nilai MQ campuran aspal beton dengan penambahan plastik lebih tinggi daripada campuran yang tidak menggunakan bahan tambah plastik. Hal ini disebabkan karena nilai stabilitas campuran dengan plastik lebih tinggi dan nilai pelelehannya juga lebih kecil daripada campuran tanpa plastik (Purnamasari & Suryaman, 2010).

Penelitian ini membenarkan dasar teori dan jurnal terdahulu mengenai perbandingan nilai *Marshall Quotient* (MQ) aspal konvensional dan aspal modifikasi. Nilai MQ aspal modifikasi lebih tinggi dikarenakan nilai stabilitasnya lebih tinggi dibanding aspal konvensional dan nilai pelelehannya lebih rendah juga.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Sesuai dengan hasil percobaan yang telah dilakukan terhadap tujuan penelitian dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Perbandingan karakteristik aspal sebelum dan sesudah penambahan plastik pada variasi suhu pencampuran *Polyethylene Terephthalate* (PET) menunjukkan bahwa hasil uji titik lembek, titik nyala, dan berat jenis aspal plastik lebih tinggi dibanding aspal konvensional penetrasi 60/70, sedangkan untuk uji penetrasi, daktilitas, dan kehilangan berat lebih rendah. Untuk penetrasi aspal plastik tidak ada yang memenuhi SNI 06-2456-1991.
2. Karakteristik Marshall pengaruh variasi suhu pemadatan pada campuran Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) tanpa penambahan plastik tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET) atau aspal beton konvensional menunjukkan bahwa nilai kepadatan, VFA, stabilitas, dan MQ semakin meningkat seiring dengan peningkatan suhu pemadatan, sedangkan nilai VIM, VMA, dan *flow* menurun seiring dengan peningkatan suhu pemadatan.
3. Pengaruh variasi suhu pemadatan pada campuran Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) dengan penambahan plastik tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET) atau aspal beton modifikasi terhadap karakteristik Marshall menunjukkan bahwa nilai kepadatan, VFA, stabilitas, dan MQ semakin meningkat seiring dengan peningkatan suhu pemadatan, sedangkan nilai VIM, VMA, dan *flow* menurun seiring dengan peningkatan suhu pemadatan.

4. Suhu pemadatan pada campuran Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) tanpa penambahan plastik tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET) atau aspal beton konvensional diperoleh suhu minimum sebesar 140 °C dan suhu optimum sebesar 150°C.
5. Suhu pemadatan pada campuran Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) dengan penambahan plastik tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET) atau aspal beton modifikasi diperoleh suhu minimum dan optimum sebesar 160°C.
6. Perbandingan pengaruh variasi suhu pemadatan pada campuran Laston Lapis Pondasi (*AC-Base*) tanpa dan dengan penambahan plastik tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET) terhadap karakteristik uji Marshall diketahui bahwa aspal konvensional memiliki nilai kepadatan, VFA, dan *flow* yang lebih tinggi dibanding aspal modifikasi, sedangkan untuk nilai VIM, VMA, dan stabilitas lebih rendah.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian tersebut, peneliti dapat memberikan saran sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini terdapat keterbatasan-keterbatasan, lingkup batas kajian, kelengkapan laboratorium, serta kondisi kerja alat. Sehingga untuk kedepannya diharapkan penelitian ini perlu kajian lebih lanjut.
2. Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) yang telah dicacah dari pengepul sampah sebaiknya digunting menjadi bagian yang lebih kecil untuk mempermudah proses homogen dengan aspal.
3. Penelitian selanjutnya menggunakan spesifikasi terbaru untuk pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Jendral Bina Marga, D. P. (2010). *Spesifikasi Umum 2010 (Revisi III)*. Jakarta: PU
- Aschuri, I., & Rahman, R. (t.thn.). Kajian Suhu Optimum Pada Proses Pemadatan untuk Campuran Beraspal dengan Menggunakan Modifikasi Bitumen Limbah Plastik.
- Direktorat Jendral Bina Marga, D. P. (1987). *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton untuk Jalan Raya SKBI-2.4.26*. Jakarta: PU.
- Kadarwanto, H. H. (2015). *PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PADA PROSES PEMADATAN TERHADAP CAMPURAN ASPAL BETON*. YOGYAKARTA: UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA.
- Nurminah, M. (2002). *Penelitian Sifat Berbagai Bahan Kemasan Plastik dan Kertas serta Pengaruhnya terhadap Bahan yang Dikemas*. Universitas Sumatera Utara.
- Pratiwi, D. S. (2018). *PENGARUH SUHU PEMADATAN TERHADAP KARAKTERISTIK HASIL UJI MARSHALL UNTUK CAMPURAN LASTON LAPIS PONDASI (AC-BASE) DENGAN PENAMBAHAN PLASTIK TIPE POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET)*". Surabaya.
- Purnamasari, P. E., & Suryaman, F. (2010). *PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH BOTOL PLASTIK*. 297-404.
- Raharjo, B., Pratomo, P., & Ali, H. (2016). Pengaruh Suhu Pemadatan Campuran Untuk Perkerasan Lapis Antara (AC-BC). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 43-50.
- Roberts, F. L. (1991). *Hot Mix Asphalt Material, Mixtures Design and Construction*. Lanham, Maryland: Napa Education Foundation.
- Suhardi, Pratomo, P., & Ali, H. (2016). Studi Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Dengan Penambahan Limbah Botol Plastik. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 284-293.

- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung: Granit.
- Fahrudin, M. & Hartanto Susilo, B., 2018. PENGARUH TEMPERATUR DAN JUMLAH LINTASAN PEMADATAN TERHADAP DENSITY PERKERASAN ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE. Volume 01, pp. 6-15.
- Firstyan, F. & Bagus, G., 2015. *PENGARUH SUHU PEMADATAN TERHADAP KINERJA MARSHALL PADA CAMPURAN CPHMA MENGGUNAKAN LGA DAN ASPAL MINYAK PENETRASI 60/70*, Malang: s.n.
- Jambeck, J. R., 2015. *Plastic Waste Input from Land Into Ocean*, University of Georgia: s.n.
- Marjono, n.d. PENGARUH SUHU PEMADATAN TERHADAP STABILITAS DAN FLOW BAHAN LAPIS TIPIS ASPAL BETON (LATASTON). *Jurnal Teknik Sipil*, pp. 27-31.
- Nurminah, M., 2002. *Penelitian Sifat Berbagai Bahan Kemasan Plastik dan Kertas serta Pengaruhnya terhadap Bahan yang Dikemas*. Universitas Sumatera Utara: s.n.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Hertanto Gunawan, dilahirkan di Malang, Jawa Timur pada tanggal 26 Juli 1997. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di Sekolah Dasar di SD Mutiara Bunda 1 Sidoarjo. Penulis melanjutkan ke jenjang Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Sidoarjo, dan melanjutkan jenjang pendidikan di SMA Negeri 1 Sidoarjo. Pada tahun 2015 penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Sarjana Terapan (Diploma IV), Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Di jurusan Teknik Sipil ini, penulis mengambil bidang studi Bangunan Transportasi. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif diberbagai kegiatan kepanitiaan di kampus baik kepanitiaan di jurusan maupun di fakultas. Selain itu, penulis pernah mengikuti kerja praktek di PT. Jasamarga Pandaan, pada proyek pembangunan Jalan Tol Pandaan-Malang. Jika ada keperluan terkait penelitian ini, penulis dapat dihubungi melalui email hertantogunawan08@gmail.com

Ucapan Terima Kasih Penulis

Saya Hertanto Gunawan, sangat bersyukur kepada Allah SWT karena limpahan rahmat dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir Terapan ini dengan penuh ilmu pengetahuan. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang berpengaruh positif terhadap penyelesaian Tugas Akhir Terapan ini.

1. Orang tua dan keluarga besar penulis yang mendukung perjuangan penulis dan selalu melantunkan doa-doa untuk perjuangan penulis.
2. Bapak Dr. Machsus, ST., MT., selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, masukan, dan dukungan kepada penulis.
3. Tim penelitian aspal plastik beserta karyawan laboratorium jalan yang membantu dan membimbing selama penelitian.
4. Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Infrastruktur Sipil yang tidak dapat saya tulis satu-persatu, yang telah memberikan ilmu selama penulis belajar di bangku perkuliahan dan menyusun tugas akhir.
5. Adi Ariyanti, Ahmad Faqqihul, Andiatma Nur Irfan Wicaksono, Anggardha Yanotama, Farraz Haidar Akbar, dan Mohammad Firli Firdausi selaku teman-teman yang bersama-sama menjalani penelitian ini.
6. Teman-teman Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, ITS yang telah memberikan bantuannya kepada penulis dalam membuat laporan ini.

LAMPIRAN

Lampiran no. 1 Logbook kegiatan penelitian

Minggu ke-1		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 11 Februari 2019	
2	Selasa, 12 Februari 2019	• Melakukan pengujian penetrasi, titik nyala, berat jenis, kehilangan berat, titik lembek, daktilitas suhu pencampuran 180°C.
3	Rabu, 13 Februari 2019	• Melakukan pengujian penetrasi, titik nyala, berat jenis, kehilangan berat, titik lembek, daktilitas suhu pencampuran 100°C
4	Kamis, 14 Februari 2019	
5	Jumat, 15 Februari 2019	
6	Sabtu, 16 Februari 2019	
7	Minggu, 17 Februari 2019	

Minggu ke-2		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 18 Februari 2019	• Melakukan pengujian penetrasi, titik nyala, berat jenis, kehilangan berat, titik lembek, daktilitas suhu pencampuran 140°C
2	Selasa, 19 Februari 2019	
3	Rabu, 20 Februari 2019	
4	Kamis, 21 Februari 2019	• Melakukan pengujian penetrasi, titik nyala, berat jenis, kehilangan berat, titik lembek, daktilitas suhu pencampuran 170°C
5	Jumat, 22 Februari 2019	
6	Sabtu, 23 Februari 2019	
7	Minggu, 24 Februari 2019	

Minggu ke-3		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 25 Februari 2019	• Melakukan pengujian penetrasi, titik nyala, berat jenis, kehilangan berat, titik lembek, daktilitas suhu pencampuran 110°C
2	Selasa, 26 Februari 2019	
3	Rabu, 27 Februari 2019	• Melakukan pengujian penetrasi, titik nyala, berat jenis, kehilangan berat, titik lembek, daktilitas suhu pencampuran 160°C
4	Kamis, 28 Februari 2019	
5	Jumat, 1 Maret 2019	
6	Sabtu, 2 Maret 2019	
7	Minggu, 3 Maret 2019	

Minggu ke-4		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 4 Maret 2019	• Melakukan pengujian penetrasi, titik nyala, berat jenis, kehilangan berat, titik lembek, daktilitas suhu pencampuran 120°C
2	Selasa, 5 Maret 2019	
3	Rabu, 6 Maret 2019	• Melakukan pengujian penetrasi, titik nyala, berat jenis, kehilangan berat, titik lembek, daktilitas suhu pencampuran 150°C
4	Kamis, 7 Maret 2019	
5	Jumat, 8 Maret 2019	
6	Sabtu, 9 Maret 2019	
7	Minggu, 10 Maret 2019	

Minggu ke-5		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 11 Maret 2019	<ul style="list-style-type: none"> Melakukan pengujian penetrasi, titik nyala, berat jenis, kehilangan berat, titik lembek, daktilitas suhu pencampuran 130°C
2	Selasa, 12 Maret 2019	<ul style="list-style-type: none"> Melakukan pembuatan benda uji campuran aspal konvensional suhu pemadatan 180°C, menimbang berat kering, merendam selama 24 jam
3	Rabu, 13 Maret 2019	<ul style="list-style-type: none"> Melakukan penimbangan benda uji campuran aspal konvensional suhu pemadatan 180°C dalam air, SSD, waterbath, uji <i>Marshall</i>. Melakukan pembuatan benda uji campuran aspal konvensional suhu pemadatan 170°C, menimbang berat kering, merendam selama 24 jam
4	Kamis, 14 Maret 2019	<ul style="list-style-type: none"> Melakukan penimbangan benda uji campuran aspal konvensional suhu pemadatan 170°C dalam air, SSD, waterbath, uji <i>Marshall</i>. Melakukan pembuatan benda uji campuran aspal konvensional suhu pemadatan 160°C, menimbang berat kering, merendam selama 24 jam
5	Jumat, 15 Maret 2019	<ul style="list-style-type: none"> Melakukan penimbangan benda uji campuran aspal konvensional suhu pemadatan 160°C dalam air, SSD, waterbath, uji <i>Marshall</i>. Melakukan pembuatan benda uji campuran aspal konvensional suhu pemadatan 150°C, menimbang berat kering, merendam selama 24 jam
6	Sabtu, 16 Maret 2019	<ul style="list-style-type: none"> Melakukan penimbangan benda uji campuran aspal konvensional suhu pemadatan 150°C dalam air, SSD, waterbath, uji <i>Marshall</i>.
7	Minggu, 17 Maret 2019	

Minggu ke-6		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 18 Maret 2019	Dvillage
2	Selasa, 19 Maret 2019	Dvillage
3	Rabu, 20 Maret 2019	Dvillage
4	Kamis, 21 Maret 2019	Dvillage
5	Jumat, 22 Maret 2019	Dvillage
6	Sabtu, 23 Maret 2019	Dvillage

Minggu ke-7		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 25 Maret 2019	Dvillage
2	Selasa, 26 Maret 2019	Dvillage
3	Rabu, 27 Maret 2019	Dvillage
4	Kamis, 28 Maret 2019	Dvillage
5	Jumat, 29 Maret 2019	Dvillage
6	Sabtu, 30 Maret 2019	Dvillage
7	Minggu, 31 Maret 2019	Dvillage

Minggu ke-8		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 1 April 2019	
2	Selasa, 2 April 2019	
3	Rabu, 3 April 2019	
4	Kamis, 4 April 2019	
5	Jumat, 5 April 2019	• Belanja agregat 10-10, 5-10 dan 0-5
6	Sabtu, 6 April 2019	
7	Minggu, 7 April 2019	• Mencuci agregat dan mengeringkan agregat

Minggu ke-9		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 8 April 2019	<ul style="list-style-type: none"> Mencuci agregat, mengeringkan agregat dan menyaring agregat
2	Selasa, 9 April 2019	<ul style="list-style-type: none"> Menyaring agregat
3	Rabu, 10 April 2019	
4	Kamis, 11 April 2019	<ul style="list-style-type: none"> Melakukan pembuatan benda uji campuran aspal konvensional suhu pemadatan 140°C dan 130°C, kemudian menimbang berat kering, merendam selama 24 jam
5	Jumat, 12 April 2019	<ul style="list-style-type: none"> Melakukan pembuatan benda uji campuran aspal konvensional suhu pemadatan 120°C dan 110°C, kemudian menimbang berat kering, merendam selama 24 jam. Melakukan penimbangan benda uji campuran aspal konvensional suhu pemadatan 140°C dan 130°C dalam air, SSD, waterbath, uji <i>Marshall</i>.
6	Sabtu, 13 April 2019	<ul style="list-style-type: none"> Melakukan pembuatan benda uji campuran aspal konvensional suhu pemadatan 100°C, kemudian menimbang berat kering, merendam selama 24 jam. Melakukan penimbangan benda uji campuran aspal konvensional suhu pemadatan 120°C dan 110°C dalam air, SSD, waterbath, uji <i>Marshall</i>.
7	Minggu, 14 April 2019	<ul style="list-style-type: none"> Melakukan penimbangan benda uji campuran aspal konvensional suhu pemadatan 100°C dalam air, SSD, waterbath, uji <i>Marshall</i>.

Minggu ke-10		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 15 April 2019	
2	Selasa, 16 April 2019	<ul style="list-style-type: none"> Melakukan pembuatan benda uji campuran aspal modifikasi suhu pemadatan 180°C dan 170°C, kemudian menimbang berat kering, merendam selama 24 jam.
3	Rabu, 17 April 2019	
4	Kamis, 18 April 2019	<ul style="list-style-type: none"> Melakukan penimbangan benda uji campuran aspal modifikasi suhu pemadatan 180°C dan 170°C dalam air, SSD, waterbath, uji <i>Marshall</i>. Melakukan pembuatan benda uji campuran aspal modifikasi suhu pemadatan 160°C dan 150°C, kemudian menimbang berat kering, merendam selama 24 jam.
5	Jumat, 19 April 2019	<ul style="list-style-type: none"> Melakukan penimbangan benda uji campuran aspal modifikasi suhu pemadatan 160°C dan 150°C dalam air, SSD, waterbath, uji <i>Marshall</i>.
6	Sabtu, 20 April 2019	
7	Minggu, 21 April 2019	

Minggu ke-11		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 22 April 2019	
2	Selasa, 23 April 2019	<ul style="list-style-type: none"> Melakukan pembuatan benda uji campuran aspal modifikasi suhu pemadatan 140°C dan 130°C, kemudian menimbang berat kering, merendam selama 24 jam.
3	Rabu, 24 April 2019	<ul style="list-style-type: none"> Melakukan penimbangan benda uji campuran aspal modifikasi suhu pemadatan 140°C dan 130°C dalam air, SSD, waterbath, uji <i>Marshall</i>.
4	Kamis, 25 April 2019	
5	Jumat, 26 April 2019	
6	Sabtu, 27 April 2019	<ul style="list-style-type: none"> Mencuci agregat, mengeringkan agregat dan menyaring agregat
7	Minggu, 28 April 2019	<ul style="list-style-type: none"> Mencuci agregat, mengeringkan agregat dan menyaring agregat

Minggu ke-12		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 29 April 2019	• Mencuci agregat, mengeringkan agregat dan menyaring agregat
2	Selasa, 30 April 2019	• Melakukan pembuatan benda uji campuran aspal modifikasi suhu pemadatan 120°C, 110°C dan 100°C, kemudian menimbang berat kering, merendam selama 24 jam.
3	Rabu, 1 Mei 2019	
4	Kamis, 2 Mei 2019	• Melakukan penimbangan benda uji campuran aspal modifikasi suhu pemadatan 120°C, 110°C dan 100°C dalam air, SSD, waterbath, uji <i>Marshall</i> .
5	Jumat, 3 Mei 2019	
6	Sabtu, 4 Mei 2019	
7	Minggu, 5 Mei 2019	

Minggu ke-13		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 6 Mei 2019	• Pengerjaan laporan penelitian
2	Selasa, 7 Mei 2019	
3	Rabu, 8 Mei 2019	
4	Kamis, 9 Mei 2019	• Asistensi dengan dosen pembimbing
5	Jumat, 10 Mei 2019	• Asistensi dengan dosen pembimbing
6	Sabtu, 11 Mei 2019	
7	Minggu, 12 Mei 2019	

Minggu ke-14		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 13 Mei 2019	
2	Selasa, 14 Mei 2019	
3	Rabu, 15 Mei 2019	
4	Kamis, 16 Mei 2019	
5	Jumat, 17 Mei 2019	• Asistensi dengan dosen pembimbing
6	Sabtu, 18 Mei 2019	
7	Minggu, 19 Mei 2019	

Minggu ke-15		
No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan
1	Senin, 20 Mei 2019	
2	Selasa, 21 Mei 2019	
3	Rabu, 22 Mei 2019	
4	Kamis, 23 Mei 2019	
5	Jumat, 24 Mei 2019	
6	Sabtu, 25 Mei 2019	
7	Minggu, 26 Mei 2019	

Lampiran no.2 Hasil uji penetrasi campuran aspal dan PET

Suhu Pencampuran	Nomor Pengujian	Benda Uji	
		I	II
(°C)		(0.1 mm)	(0.1 mm)
100	1	36	42
	2	45	33
	3	48	49
	4	40	36
	5	32	47
	6	42	45
	Rata-rata	40.50	42.00
	Rata-rata 2 benda uji	41.25	
110	1	39	41
	2	37	44
	3	48	35
	4	45	42
	5	32	40
	6	40	39
	Rata-rata	40.17	40.17
	Rata-rata 2 benda uji	40.17	

Suhu Pencampuran	Nomor Pengujian	Benda Uji	
		I	II
(°C)		(0.1 mm)	(0.1 mm)
120	1	47	44
	2	44	51
	3	46	46
	4	52	48
	5	46	47
	6	42	43
	Rata-rata	46.17	46.50
	Rata-rata 2 benda uji	46.33	
130	1	42	44
	2	44	41
	3	38	35
	4	40	48
	5	46	47
	6	42	39
	Rata-rata	42.00	42.33
	Rata-rata 2 benda uji	42.17	
140	1	48	41
	2	37	46
	3	46	42
	4	45	49
	5	45	54
	6	48	49
	Rata-rata	44.83	46.83
	Rata-rata 2 benda uji	45.83	

Suhu Pencampuran	Nomor Pengujian	Benda Uji	
		I	II
(°C)		(0.1 mm)	(0.1 mm)
150	1	51	42
	2	44	50
	3	48	42
	4	55	54
	5	53	47
	6	47	45
	Rata-rata	49.67	46.67
	Rata-rata 2 benda uji	48.17	
160	1	45	42
	2	36	46
	3	49	42
	4	50	53
	5	47	47
	6	44	50
	Rata-rata	45.17	46.67
	Rata-rata 2 benda uji	45.92	
170	1	45	53
	2	55	41
	3	47	56
	4	52	46
	5	46	46
	6	51	49
	Rata-rata	49.33	48.50
	Rata-rata 2 benda uji	48.92	

Suhu Pencampuran (°C)	Nomor Pengujian	Benda Uji	
		I (0.1 mm)	II (0.1 mm)
180	1	45	50
	2	55	47
	3	53	60
	4	56	63
	5	41	65
	6	34	65
	Rata-rata	47.33	58.33
	Rata-rata 2 benda uji	52.83	

Lampiran no. 3 Hasil uji titik lembek campuran aspal dan PET

Suhu Pencampuran (°C)	Keterangan	Benda Uji			
		I (°C)	II (°C)	III (°C)	IV (°C)
100	Titik Lembek	60	62	65	63
	Titik Lembek Rata - Rata	62.5			
110	Titik Lembek	60	62	59	60
	Titik Lembek Rata - Rata	60.25			
120	Titik Lembek	57	59	60	63
	Titik Lembek Rata - Rata	59.75			
130	Titik Lembek	55	55	54	55
	Titik Lembek Rata - Rata	54.75			
140	Titik Lembek	61	58	59	59
	Titik Lembek Rata - Rata	59.25			
150	Titik Lembek	55	56	58	60
	Titik Lembek Rata - Rata	57.25			
160	Titik Lembek	54	52	52	53
	Titik Lembek Rata - Rata	52.75			
170	Titik Lembek	56	56	58	55
	Titik Lembek Rata - Rata	56.25			
180	Titik Lembek	53	56	55	55
	Titik Lembek Rata - Rata	54.75			

Lampiran no. 4 Hasil uji titik nyala campuran aspal dan PET

Suhu Pencampuran (°C)	Keterangan	Benda Uji	
		I (°C)	II (°C)
100	Titik Nyala	265	261
	Titik Nyala Rata - Rata	263	
110	Titik Nyala	259	264
	Titik Nyala Rata - Rata	261.5	
120	Titik Nyala	262	264
	Titik Nyala Rata - Rata	263	
130	Titik Nyala	265	262
	Titik Nyala Rata - Rata	263.5	
140	Titik Nyala	264	260
	Titik Nyala Rata - Rata	262	
150	Titik Nyala	262	264
	Titik Nyala Rata - Rata	263	
160	Titik Nyala	260	263
	Titik Nyala Rata - Rata	261.5	
170	Titik Nyala	260	262
	Titik Nyala Rata - Rata	261	
180	Titik Nyala	261	258
	Titik Nyala Rata - Rata	259.5	

Lampiran no. 5 Hasil uji daktilitas campuran aspal dan PET

Suhu Pencampuran (°C)	Keterangan	Benda Uji	
		I (cm)	II (cm)
100	Daktilitas	119	125
	Daktilitas Rata-rata	122	
110	Daktilitas	121	118
	Daktilitas Rata-rata	119.5	
120	Daktilitas	136	133
	Daktilitas Rata-rata	134.5	
130	Daktilitas	135	137
	Daktilitas Rata-rata	136	
140	Daktilitas	136	133
	Daktilitas Rata-rata	134.5	
150	Daktilitas	141	139
	Daktilitas Rata-rata	140	
160	Daktilitas	131	134
	Daktilitas Rata-rata	132.5	
170	Daktilitas	138	142
	Daktilitas Rata-rata	140	
180	Daktilitas	148	146
	Daktilitas Rata-rata	147	

Lampiran no. 6 Hasil uji kehilangan berat campuran aspal dan PET

Suhu Pencampuran (°C)	Keterangan	Benda Uji		Satuan
		I	II	
100	Berat Cawan + Aspal Sebelum Pengujian (A)	103.473	103.514	gram
	Berat Cawan + Aspal Setelah Pengujian (B)	103.441	103.498	gram
	Kehilangan Berat (A - B) x 100%	0.031	0.015	%
	A			
	Kehilangan Berat Rata-rata	0.0232		%
110	Berat Cawan + Aspal Sebelum Pengujian (A)	103.524	103.446	gram
	Berat Cawan + Aspal Setelah Pengujian (B)	103.498	103.405	gram
	Kehilangan Berat (A - B) x 100%	0.025	0.040	%
	A			
	Kehilangan Berat Rata-rata	0.0324		%
120	Berat Cawan + Aspal Sebelum Pengujian (A)	103.485	103.507	gram
	Berat Cawan + Aspal Setelah Pengujian (B)	103.461	103.480	gram
	Kehilangan Berat (A - B) x 100%	0.023	0.026	%
	A			
	Kehilangan Berat Rata-rata	0.0246		%

Suhu Pencampuran (°C)	Keterangan	Benda Uji		Satuan
		I	II	
130	Berat Cawan + Aspal Sebelum Pengujian (A)	103.439	103.481	gram
	Berat Cawan + Aspal Setelah Pengujian (B)	103.415	103.448	gram
	Kehilangan Berat (A - B) x 100%	0.023	0.032	%
	A			
	Kehilangan Berat Rata-rata	0.0276		%
140	Berat Cawan + Aspal Sebelum Pengujian (A)	103.466	103.493	gram
	Berat Cawan + Aspal Setelah Pengujian (B)	103.437	103.459	gram
	Kehilangan Berat (A - B) x 100%	0.028	0.033	%
	A			
	Kehilangan Berat Rata-rata	0.0304		%
150	Berat Cawan + Aspal Sebelum Pengujian (A)	103.491	103.511	gram
	Berat Cawan + Aspal Setelah Pengujian (B)	103.466	103.483	gram
	Kehilangan Berat (A - B) x 100%	0.024	0.027	%
	A			
	Kehilangan Berat Rata-rata	0.0256		%

Suhu Pencampuran (°C)	Keterangan	Benda Uji		Satuan
		I	II	
160	Berat Cawan + Aspal Sebelum Pengujian (A)	103.482	103.511	gram
	Berat Cawan + Aspal Setelah Pengujian (B)	103.461	103.491	gram
	Kehilangan Berat (A - B) x 100%	0.020	0.019	%
	A			
	Kehilangan Berat Rata-rata	0.0198		%
170	Berat Cawan + Aspal Sebelum Pengujian (A)	103.598	105.548	gram
	Berat Cawan + Aspal Setelah Pengujian (B)	103.588	105.520	gram
	Kehilangan Berat (A - B) x 100%	0.009	0.027	%
	A			
	Kehilangan Berat Rata-rata	0.0179		%
180	Berat Cawan + Aspal Sebelum Pengujian (A)	103.577	105.558	gram
	Berat Cawan + Aspal Setelah Pengujian (B)	103.575	105.521	gram
	Kehilangan Berat (A - B) x 100%	0.002	0.035	%
	A			
	Kehilangan Berat Rata-rata	0.0185		%

Lampiran no. 7 Hasil uji berat jenis campuran aspal dan PET

Suhu Pencampuran (°C)	Keterangan	Benda Uji		Satuan
		I	II	
100	Berat Piktometer (A)	71.161	59.888	gram
	Berat Piktometer + Air (B)	200.381	200.284	gram
	Berat Piktometer + Aspal (C)	97.490	98.342	gram
	Berat Piktometer + Aspal + Air (D)	201.459	201.840	gram
	Berat Jenis C - A	1.043	1.042	gram/cc
	(B - A) - (D - C)			
	Berat Jenis Rata - Rata	1.042		
110	Berat Piktometer (A)	71.161	59.888	gram
	Berat Piktometer + Air (B)	200.368	200.251	gram
	Berat Piktometer + Aspal (C)	96.138	97.759	gram
	Berat Piktometer + Aspal + Air (D)	201.611	201.810	gram
	Berat Jenis C - A	1.052	1.043	gram/cc
	(B - A) - (D - C)			
	Berat Jenis Rata - Rata	1.048		
120	Berat Piktometer (A)	71.161	59.888	gram
	Berat Piktometer + Air (B)	200.393	200.287	gram
	Berat Piktometer + Aspal (C)	96.481	98.854	gram
	Berat Piktometer + Aspal + Air (D)	201.335	202.686	gram
	Berat Jenis C - A	1.039	1.066	gram/cc
	(B - A) - (D - C)			
	Berat Jenis Rata - Rata	1.052		

Suhu Pencampuran (°C)	Keterangan	Benda Uji		Satuan
		I	II	
130	Berat Pikhnometer (A)	71.161	59.888	gram
	Berat Pikhnometer + Air (B)	200.367	200.334	gram
	Berat Pikhnometer + Aspal (C)	97.378	98.651	gram
	Berat Pikhnometer + Aspal + Air (D)	201.556	202.244	gram
	Berat Jenis C - A	1.048	1.052	gram/cc
	(B - A) - (D - C)			
	Berat Jenis Rata - Rata	1.050		
140	Berat Pikhnometer (A)	71.161	59.888	gram
	Berat Pikhnometer + Air (B)	200.372	200.159	gram
	Berat Pikhnometer + Aspal (C)	95.877	97.752	gram
	Berat Pikhnometer + Aspal + Air (D)	201.803	201.961	gram
	Berat Jenis C - A	1.061	1.050	gram/cc
	(B - A) - (D - C)			
	Berat Jenis Rata - Rata	1.056		
150	Berat Pikhnometer (A)	71.161	59.888	gram
	Berat Pikhnometer + Air (B)	200.475	200.327	gram
	Berat Pikhnometer + Aspal (C)	97.831	98.548	gram
	Berat Pikhnometer + Aspal + Air (D)	202.459	202.157	gram
	Berat Jenis C - A	1.080	1.050	gram/cc
	(B - A) - (D - C)			
	Berat Jenis Rata - Rata	1.065		

Suhu Pencampuran (°C)	Keterangan	Benda Uji		Satuan
		I	II	
160	Berat Piknometer (A)	71.161	59.888	gram
	Berat Piknometer + Air (B)	200.427	200.306	gram
	Berat Piknometer + Aspal (C)	97.640	98.452	gram
	Berat Piknometer + Aspal + Air (D)	202.134	202.292	gram
	Berat Jenis C - A	1.069	1.054	gram/cc
	(B - A) - (D - C)			
	Berat Jenis Rata - Rata	1.062		
170	Berat Piknometer (A)	71.161	59.888	gram
	Berat Piknometer + Air (B)	200.386	200.263	gram
	Berat Piknometer + Aspal (C)	96.431	98.862	gram
	Berat Piknometer + Aspal + Air (D)	201.322	202.697	gram
	Berat Jenis C - A	1.038	1.067	gram/cc
	(B - A) - (D - C)			
	Berat Jenis Rata - Rata	1.053		
180	Berat Piknometer (A)	71.161	59.888	gram
	Berat Piknometer + Air (B)	200.400	200.272	gram
	Berat Piknometer + Aspal (C)	95.279	95.421	gram
	Berat Piknometer + Aspal + Air (D)	202.578	201.997	gram
	Berat Jenis C - A	1.099	1.051	gram/cc
	(B - A) - (D - C)			
	Berat Jenis Rata - Rata	1.075		

Lampiran no. 8 Hasil kepadatan aspal beton konvensional

Suhu Pematatan	Kode	Berat			Kepadatan	Rata-rata Kepadatan
		Kering	Dalam Air	SSD		
°C		gram	gram	gram		
100	AK 1 1	1186	688	1210	2.272	2.266
	AK 1 2	1184	692	1212	2.277	
	AK 1 3	1182	688	1214	2.247	
	AK 1 4	1184	690	1210	2.277	
	AK 1 5	1182	688	1212	2.256	
110	AK 2 1	1184	686	1208	2.268	2.256
	AK 2 2	1192	686	1220	2.232	
	AK 2 3	1184	684	1208	2.260	
	AK 2 4	1188	682	1206	2.267	
	AK 2 5	1190	688	1216	2.254	
120	AK 3 1	1190	694	1208	2.285	2.303
	AK 3 2	1192	694	1208	2.319	
	AK 3 3	1196	694	1214	2.300	
	AK 3 4	1194	694	1208	2.323	
	AK 3 5	1194	696	1216	2.286	
130	AK 4 1	1194	690	1210	2.296	2.280
	AK 4 2	1186	692	1210	2.290	
	AK 4 3	1192	690	1220	2.249	
	AK 4 4	1184	694	1216	2.268	
	AK 4 5	1194	696	1216	2.296	

Suhu Pematatan	Kode	Berat			Kepadatan	Rata-rata Kepadatan
		Kering	Dalam Air	SSD		
°C		gram	gram	gram		
140	AK 5 1	1188	680	1208	2.250	2.267
	AK 5 2	1182	678	1202	2.256	
	AK 5 3	1190	688	1206	2.297	
	AK 5 4	1192	682	1210	2.258	
	AK 5 5	1174	674	1190	2.275	
150	AK 6 1	1182	678	1194	2.291	2.300
	AK 6 2	1186	684	1194	2.325	
	AK 6 3	1178	676	1192	2.283	
	AK 6 4	1176	678	1184	2.324	
	AK 6 5	1184	678	1198	2.277	
160	AK 7 1	1182	686	1200	2.300	2.321
	AK 7 2	1176	688	1192	2.333	
	AK 7 3	1191	698	1210	2.326	
	AK 7 4	1189	692	1208	2.304	
	AK 7 5	1189	698	1206	2.341	
170	AK 8 1	1192	692	1208	2.310	2.316
	AK 8 2	1172	684	1192	2.307	
	AK 8 3	1174	688	1192	2.329	
	AK 8 4	1182	688	1198	2.318	
	AK 8 5	1180	688	1198	2.314	
180	AK 9 1	1180	682	1194	2.305	2.329
	AK 9 2	1190	694	1204	2.333	
	AK 9 3	1172	678	1182	2.325	
	AK 9 4	1170	686	1184	2.349	
	AK 9 5	1186	690	1198	2.335	

Lampiran no. 9 Hasil VIM aspal beton konvensional

Suhu Pemasatan	Kode	VIM	Rata-rata VIM
°C		%	%
100	AK 1 1	6.7	6.19
	AK 1 2	6.32	
	AK 1 3	5.93	
	AK 1 4	5.43	
	AK 1 5	6.56	
110	AK 2 1	7.32	6.38
	AK 2 2	6.43	
	AK 2 3	5.39	
	AK 2 4	6.61	
	AK 2 5	6.13	
120	AK 3 1	4.65	5.47
	AK 3 2	5.98	
	AK 3 3	5.76	
	AK 3 4	5.34	
	AK 3 5	5.61	
130	AK 4 1	5.12	5.26
	AK 4 2	5.51	
	AK 4 3	4.85	
	AK 4 4	4.92	
	AK 4 5	5.92	
140	AK 5 1	4.8	4.38
	AK 5 2	3.88	
	AK 5 3	3.88	
	AK 5 4	5.48	
	AK 5 5	3.86	

Suhu Pemadatan	Kode	VIM	Rata-rata VIM
°C		%	%
150	AK 6 1	4.12	3.95
	AK 6 2	3.69	
	AK 6 3	3.45	
	AK 6 4	3.77	
	AK 6 5	4.7	
160	AK 7 1	5.76	4.73
	AK 7 2	3.53	
	AK 7 3	4.69	
	AK 7 4	4.59	
	AK 7 5	5.08	
170	AK 8 1	5.35	4.92
	AK 8 2	4.47	
	AK 8 3	4.57	
	AK 8 4	6.02	
	AK 8 5	4.18	
180	AK 9 1	5.55	4.51
	AK 9 2	4.4	
	AK 9 3	4.73	
	AK 9 4	3.75	
	AK 9 5	4.1	

Lampiran no. 10 Hasil VMA aspal beton konvensional

Suhu Pemasatan	Kode	VMA	Rata-rata VMA
°C		%	%
100	AK 1 1	14.63	17.69
	AK 1 2	16.75	
	AK 1 3	18.83	
	AK 1 4	19.75	
	AK 1 5	18.51	
110	AK 2 1	19.08	17.59
	AK 2 2	16.81	
	AK 2 3	17.37	
	AK 2 4	15.11	
	AK 2 5	19.58	
120	AK 3 1	18.38	18.36
	AK 3 2	18.23	
	AK 3 3	16.92	
	AK 3 4	19.2	
	AK 3 5	19.06	
130	AK 4 1	19.06	18.49
	AK 4 2	19.28	
	AK 4 3	16.76	
	AK 4 4	18.08	
	AK 4 5	19.26	
140	AK 5 1	19.73	17.83
	AK 5 2	17.03	
	AK 5 3	15.03	
	AK 5 4	18.44	
	AK 5 5	18.90	

Suhu Pemasakan	Kode	VMA	Rata-rata VMA
°C		%	%
150	AK 6 1	17.25	16.91
	AK 6 2	15.98	
	AK 6 3	17.53	
	AK 6 4	19.05	
	AK 6 5	14.75	
160	AK 7 1	18.92	16.19
	AK 7 2	13.84	
	AK 7 3	14.98	
	AK 7 4	17.78	
	AK 7 5	15.44	
170	AK 8 1	17.56	16.36
	AK 8 2	16.67	
	AK 8 3	15.87	
	AK 8 4	13.27	
	AK 8 5	18.41	
180	AK 9 1	18.74	15.89
	AK 9 2	15.73	
	AK 9 3	16.02	
	AK 9 4	13.15	
	AK 9 5	15.82	

Lampiran no. 11 Hasil VFA aspal beton konvensional

Suhu Pemadatan	Kode	VFA	Rata-rata VFA
°C		%	%
100	AK 1 1	70.51	68.61
	AK 1 2	67.27	
	AK 1 3	69.91	
	AK 1 4	67.27	
	AK 1 5	68.11	
110	AK 2 1	72.91	70.56
	AK 2 2	67.9	
	AK 2 3	72.45	
	AK 2 4	68.54	
	AK 2 5	70.99	
120	AK 3 1	68.61	69.56
	AK 3 2	66.34	
	AK 3 3	72.99	
	AK 3 4	68.53	
	AK 3 5	71.31	
130	AK 4 1	68.31	71.41
	AK 4 2	72.33	
	AK 4 3	70.19	
	AK 4 4	72.91	
	AK 4 5	73.31	
140	AK 5 1	72.33	70.88
	AK 5 2	68.48	
	AK 5 3	71.48	
	AK 5 4	72.45	
	AK 5 5	69.66	

Suhu Pemasakan	Kode	VFA	Rata-rata VFA
°C		%	%
150	AK 6 1	71.49	70.98
	AK 6 2	72.65	
	AK 6 3	69.21	
	AK 6 4	68.28	
	AK 6 5	73.27	
160	AK 7 1	72.99	71.49
	AK 7 2	71.52	
	AK 7 3	70.65	
	AK 7 4	68.67	
	AK 7 5	73.61	
170	AK 8 1	72.72	72.35
	AK 8 2	71.19	
	AK 8 3	71.23	
	AK 8 4	73.16	
	AK 8 5	73.43	
180	AK 9 1	71.84	71.14
	AK 9 2	73.01	
	AK 9 3	73.46	
	AK 9 4	69.27	
	AK 9 5	68.11	

Lampiran no. 12 Hasil stabilitas aspal beton konvensional

Suhu Pemadatan	Kode	Stabilitas	Rata-rata Stabilitas
°C		kg	kg
100	AK 1 1	1107.8	1233.51
	AK 1 2	1122.38	
	AK 1 3	1265.55	
	AK 1 4	1236.69	
	AK 1 5	1435.13	
110	AK 2 1	1384.14	1300.729
	AK 2 2	1074.56	
	AK 2 3	1304.4	
	AK 2 4	1317.04	
	AK 2 5	1423.5	
120	AK 3 1	1016.23	1267.691
	AK 3 2	1460.21	
	AK 3 3	1480.3	
	AK 3 4	1053.15	
	AK 3 5	1328.57	
130	AK 4 1	1435.13	1451.64
	AK 4 2	1676.59	
	AK 4 3	1264.22	
	AK 4 4	1339.48	
	AK 4 5	1542.81	
140	AK 5 1	1832.81	1682.770
	AK 5 2	1798.24	
	AK 5 3	1364.77	
	AK 5 4	1935.8	
	AK 5 5	1482.24	

Suhu Pemadatan	Kode	Stabilitas	Rata-rata Stabilitas
°C		kg	kg
150	AK 6 1	1871.25	1918.606
	AK 6 2	1889.5	
	AK 6 3	1952.22	
	AK 6 4	1760.51	
	AK 6 5	2119.55	
160	AK 7 1	1615.61	1872.047
	AK 7 2	2031.75	
	AK 7 3	1848	
	AK 7 4	1961.29	
	AK 7 5	1903.58	
170	AK 8 1	1822.51	1518.660
	AK 8 2	1467.45	
	AK 8 3	1291.86	
	AK 8 4	1403.82	
	AK 8 5	1607.66	
180	AK 9 1	1679.34	1798.588
	AK 9 2	1984.85	
	AK 9 3	1645.39	
	AK 9 4	2087.43	
	AK 9 5	1595.93	

Lampiran no. 13 Hasil flow aspal beton konvensional

Suhu Pematatan	Kode	flow	Rata-rata flow
°C		mm	mm
100	AK 1 1	8	7.18
	AK 1 2	7.2	
	AK 1 3	6.7	
	AK 1 4	6.3	
	AK 1 5	7.7	
110	AK 2 1	5	6.54
	AK 2 2	8.3	
	AK 2 3	6.4	
	AK 2 4	6.7	
	AK 2 5	6.3	
120	AK 3 1	8.7	7.12
	AK 3 2	5.8	
	AK 3 3	5.5	
	AK 3 4	8	
	AK 3 5	7.6	
130	AK 4 1	5.2	6.3
	AK 4 2	7.5	
	AK 4 3	5.5	
	AK 4 4	6.3	
	AK 4 5	7	
140	AK 5 1	4.1	5.9
	AK 5 2	5.1	
	AK 5 3	7.8	
	AK 5 4	5	
	AK 5 5	7.5	

Suhu Pemasadatan	Kode	<i>flow</i>	Rata-rata <i>flow</i>
°C		mm	mm
150	AK 6 1	4.2	4.32
	AK 6 2	3.6	
	AK 6 3	4.5	
	AK 6 4	4.2	
	AK 6 5	5.1	
160	AK 7 1	6.1	4.4
	AK 7 2	3.8	
	AK 7 3	5.2	
	AK 7 4	3.4	
	AK 7 5	3.5	
170	AK 8 1	3.8	5.48
	AK 8 2	6	
	AK 8 3	7.1	
	AK 8 4	6.5	
	AK 8 5	4	
180	AK 9 1	5.3	4.44
	AK 9 2	3.4	
	AK 9 3	4.2	
	AK 9 4	3.3	
	AK 9 5	6	

Lampiran no. 14 Hasil MQ aspal beton konvensional

Suhu Pematatan	Kode	MQ	Rata-rata MQ
°C		kg/mm	kg/mm
100	AK 1 1	138.475	173.186
	AK 1 2	155.887	
	AK 1 3	188.888	
	AK 1 4	196.300	
	AK 1 5	186.380	
110	AK 2 1	276.828	206.526
	AK 2 2	129.465	
	AK 2 3	203.813	
	AK 2 4	196.574	
	AK 2 5	225.953	
120	AK 3 1	116.808	188.834
	AK 3 2	251.760	
	AK 3 3	269.145	
	AK 3 4	131.643	
	AK 3 5	174.811	
130	AK 4 1	275.986	232.481
	AK 4 2	223.545	
	AK 4 3	229.859	
	AK 4 4	212.616	
	AK 4 5	220.401	
140	AK 5 1	447.027	311.877
	AK 5 2	352.596	
	AK 5 3	174.970	
	AK 5 4	387.160	
	AK 5 5	197.631	

Suhu Pemadatan	Kode	MQ	Rata-rata MQ
°C		kg/mm	kg/mm
150	AK 6 1	445.536	447.798
	AK 6 2	524.862	
	AK 6 3	433.826	
	AK 6 4	419.170	
	AK 6 5	415.598	
160	AK 7 1	264.855	455.13
	AK 7 2	534.672	
	AK 7 3	355.385	
	AK 7 4	576.850	
	AK 7 5	543.879	
170	AK 8 1	479.608	304.80
	AK 8 2	244.575	
	AK 8 3	181.952	
	AK 8 4	215.972	
	AK 8 5	401.915	
180	AK 9 1	316.857	438.19
	AK 9 2	583.778	
	AK 9 3	391.759	
	AK 9 4	632.554	
	AK 9 5	265.989	

Lampiran no. 15 Hasil kepadatan aspal beton modifikasi

Suhu Pematatan	Kode	Berat			Kepadatan	Rata-rata Kepadatan
		Kering	Dalam Air	SSD		
°C		gram	gram	gram		
100	AM 1 1	1182	682	1202	2.273	2.242
	AM 1 2	1180	674	1204	2.226	
	AM 1 3	1172	670	1194	2.237	
	AM 1 4	1178	682	1206	2.248	
	AM 1 5	1176	680	1208	2.227	
110	AM 2 1	1166	668	1180	2.277	2.253
	AM 2 2	1170	676	1206	2.208	
	AM 2 3	1174	686	1200	2.284	
	AM 2 4	1178	686	1210	2.248	
	AM 2 5	1174	688	1210	2.249	
120	AM 3 1	1186	694	1214	2.281	2.273
	AM 3 2	1186	696	1210	2.287	
	AM 3 3	1178	692	1208	2.283	
	AM 3 4	1172	680	1196	2.271	
	AM 3 5	1170	682	1204	2.241	
130	AM 4 1	1170	688	1200	2.285	2.261
	AM 4 2	1168	694	1210	2.264	
	AM 4 3	1170	678	1210	2.289	
	AM 4 4	1168	676	1200	2.229	
	AM 4 5	1166	676	1206	2.240	

Suhu Pematatan	Kode	Berat			Kepadatan	Rata-rata Kepadatan
		Kering	Dalam Air	SSD		
°C		gram	gram	gram		
140	AM 5 1	1160	682	1192	2.275	2.262
	AM 5 2	1158	674	1190	2.244	
	AM 5 3	1174	688	1212	2.280	
	AM 5 4	1142	660	1174	2.262	
	AM 5 5	1168	682	1206	2.249	
150	AM 6 1	1174	686	1200	2.284	2.285
	AM 6 2	1180	690	1206	2.287	
	AM 6 3	1170	690	1194	2.261	
	AM 6 4	1178	686	1202	2.283	
	AM 6 5	1182	692	1204	2.309	
160	AM 7 1	1182	694	1206	2.309	2.288
	AM 7 2	1184	690	1206	2.295	
	AM 7 3	1180	690	1202	2.305	
	AM 7 4	1182	680	1210	2.230	
	AM 7 5	1182	690	1204	2.300	
170	AM 8 1	1178	684	1202	2.274	2.278
	AM 8 2	1186	688	1210	2.272	
	AM 8 3	1188	688	1210	2.276	
	AM 8 4	1180	684	1204	2.269	
	AM 8 5	1186	692	1208	2.298	
180	AM 9 1	1188	688	1216	2.290	2.282
	AM 9 2	1186	688	1208	2.281	
	AM 9 3	1182	688	1206	2.282	
	AM 9 4	1176	676	1198	2.253	
	AM 9 5	1178	672	1198	2.305	

Lampiran no. 16 Hasil VIM aspal beton modifikasi

Suhu Pematatan	Kode	VIM	Rata-rata VIM
°C		%	%
100	AM 1 1	5.34	6.58
	AM 1 2	7.32	
	AM 1 3	7.24	
	AM 1 4	8.79	
	AM 1 5	4.2	
110	AM 2 1	4.16	6.66
	AM 2 2	5.97	
	AM 2 3	7.87	
	AM 2 4	8	
	AM 2 5	7.3	
120	AM 3 1	7.8	7.18
	AM 3 2	8.94	
	AM 3 3	7.92	
	AM 3 4	6.4	
	AM 3 5	4.83	
130	AM 4 1	4.83	6.52
	AM 4 2	4.69	
	AM 4 3	7.01	
	AM 4 4	8.21	
	AM 4 5	7.85	
140	AM 5 1	7.24	5.98
	AM 5 2	4.51	
	AM 5 3	7.63	
	AM 5 4	5.4	
	AM 5 5	5.12	

Suhu Pemasakan	Kode	VIM	Rata-rata VIM
°C		%	%
150	AM 6 1	4.86	5.18
	AM 6 2	6.73	
	AM 6 3	5.35	
	AM 6 4	3.9	
	AM 6 5	5.04	
160	AM 7 1	5.84	4.74
	AM 7 2	7.61	
	AM 7 3	3	
	AM 7 4	4.06	
	AM 7 5	3.2	
170	AM 8 1	6.26	4.90
	AM 8 2	3.34	
	AM 8 3	6.18	
	AM 8 4	4.47	
	AM 8 5	4.24	
180	AM 9 1	3.29	4.80
	AM 9 2	3.98	
	AM 9 3	7.94	
	AM 9 4	5.12	
	AM 9 5	3.65	

Lampiran no. 17 Hasil VMA aspal beton modifikasi

Suhu Pemadatan	Kode	VMA	Rata-rata VMA
°C		%	%
100	AM 1 1	16.8	19.61
	AM 1 2	20.9	
	AM 1 3	18.59	
	AM 1 4	20.2	
	AM 1 5	21.56	
110	AM 2 1	17.75	18.41
	AM 2 2	15.24	
	AM 2 3	20.5	
	AM 2 4	19.8	
	AM 2 5	18.76	
120	AM 3 1	16.61	18.77
	AM 3 2	19.67	
	AM 3 3	20.53	
	AM 3 4	17.97	
	AM 3 5	19.05	
130	AM 4 1	17.46	19.30
	AM 4 2	18.22	
	AM 4 3	20.28	
	AM 4 4	20.42	
	AM 4 5	20.13	
140	AM 5 1	20.05	19.01
	AM 5 2	18.94	
	AM 5 3	15.82	
	AM 5 4	20.74	
	AM 5 5	19.48	

Suhu Pemasakan	Kode	VMA	Rata-rata VMA
°C		%	%
150	AM 6 1	20.6	17.24
	AM 6 2	18.39	
	AM 6 3	15.16	
	AM 6 4	16.53	
	AM 6 5	15.5	
160	AM 7 1	14.6	17.48
	AM 7 2	18.7	
	AM 7 3	16.74	
	AM 7 4	20.45	
	AM 7 5	16.92	
170	AM 8 1	19.86	17.52
	AM 8 2	17.93	
	AM 8 3	13.79	
	AM 8 4	19.04	
	AM 8 5	16.96	
180	AM 9 1	13.73	16.32
	AM 9 2	15.61	
	AM 9 3	17.57	
	AM 9 4	19.62	
	AM 9 5	15.09	

Lampiran no. 18 Hasil VFA aspal beton modifikasi

Suhu Pematatan	Kode	VFA	Rata-rata VFA
°C		%	%
100	AM 1 1	62.62	64.75
	AM 1 2	64.06	
	AM 1 3	65.84	
	AM 1 4	64.2	
	AM 1 5	67.03	
110	AM 2 1	65.66	64.68
	AM 2 2	63.73	
	AM 2 3	67.71	
	AM 2 4	62.54	
	AM 2 5	63.75	
120	AM 3 1	63.12	64.06
	AM 3 2	61.12	
	AM 3 3	65.56	
	AM 3 4	63.79	
	AM 3 5	66.72	
130	AM 4 1	65.07	63.30
	AM 4 2	62.79	
	AM 4 3	61.62	
	AM 4 4	63.17	
	AM 4 5	63.86	
140	AM 5 1	68.37	65.95
	AM 5 2	65.1	
	AM 5 3	66.71	
	AM 5 4	66.36	
	AM 5 5	63.21	

Suhu Pemasakan	Kode	VFA	Rata-rata VFA
°C		%	%
150	AM 6 1	67.82	67.31
	AM 6 2	68.28	
	AM 6 3	66.92	
	AM 6 4	64.67	
	AM 6 5	68.84	
160	AM 7 1	67.84	67.52
	AM 7 2	64.84	
	AM 7 3	66.16	
	AM 7 4	68.43	
	AM 7 5	70.34	
170	AM 8 1	71.33	68.16
	AM 8 2	68.04	
	AM 8 3	66.63	
	AM 8 4	69.61	
	AM 8 5	65.18	
180	AM 9 1	68.99	69.66
	AM 9 2	67.73	
	AM 9 3	70.52	
	AM 9 4	71.39	
	AM 9 5	69.69	

Lampiran no. 19 Hasil stabilitas aspal beton modifikasi

Suhu Pematatan	Kode	Stabilitas	Rata-rata Stabilitas
°C		kg	kg
100	AM 1 1	1639.168	1365.52
	AM 1 2	1358.444	
	AM 1 3	1258.106	
	AM 1 4	1199.269	
	AM 1 5	1372.618	
110	AM 2 1	1152.873	1290.451
	AM 2 2	1462.046	
	AM 2 3	1091.487	
	AM 2 4	1253.619	
	AM 2 5	1492.229	
120	AM 3 1	1460.108	1393.359
	AM 3 2	1255.353	
	AM 3 3	1691.070	
	AM 3 4	1159.093	
	AM 3 5	1401.170	
130	AM 4 1	1829.342	1442.08
	AM 4 2	1180.915	
	AM 4 3	1489.782	
	AM 4 4	1461.842	
	AM 4 5	1248.521	
140	AM 5 1	1519.149	1777.235
	AM 5 2	1961.087	
	AM 5 3	1737.161	
	AM 5 4	1832.911	
	AM 5 5	1835.868	

Suhu Pematatan	Kode	Stabilitas	Rata-rata Stabilitas
°C		kg	kg
150	AM 6 1	1678.018	1968.653
	AM 6 2	2029.101	
	AM 6 3	2119.548	
	AM 6 4	2206.529	
	AM 6 5	1810.069	
160	AM 7 1	1982.501	2014.540
	AM 7 2	2110.473	
	AM 7 3	1940.897	
	AM 7 4	1892.665	
	AM 7 5	2146.163	
170	AM 8 1	1662.213	1912.039
	AM 8 2	2064.994	
	AM 8 3	1720.030	
	AM 8 4	2088.753	
	AM 8 5	2024.206	
180	AM 9 1	2168.596	1935.187
	AM 9 2	2095.280	
	AM 9 3	1746.644	
	AM 9 4	1872.271	
	AM 9 5	1793.142	

Lampiran no. 20 Hasil flow aspal beton modifikasi

Suhu Pematatan	Kode	flow	Rata-rata flow
°C		mm	mm
100	AM 1 1	4	6.28
	AM 1 2	8.2	
	AM 1 3	7.4	
	AM 1 4	7.7	
	AM 1 5	4.1	
110	AM 2 1	6.7	7
	AM 2 2	4.5	
	AM 2 3	8.9	
	AM 2 4	6.4	
	AM 2 5	8.5	
120	AM 3 1	8.9	6.62
	AM 3 2	7.5	
	AM 3 3	5.2	
	AM 3 4	4.7	
	AM 3 5	6.8	
130	AM 4 1	5	5.92
	AM 4 2	5.7	
	AM 4 3	7.5	
	AM 4 4	7.1	
	AM 4 5	4.3	
140	AM 5 1	3.8	5.4
	AM 5 2	6.6	
	AM 5 3	5.1	
	AM 5 4	4.5	
	AM 5 5	7	

Suhu Pemadatan	Kode	<i>flow</i>	Rata-rata <i>flow</i>
°C		mm	mm
150	AM 6 1	5.5	4.88
	AM 6 2	3.7	
	AM 6 3	5	
	AM 6 4	3.2	
	AM 6 5	7	
160	AM 7 1	3.8	4.2
	AM 7 2	3.7	
	AM 7 3	3.5	
	AM 7 4	4.3	
	AM 7 5	5.7	
170	AM 8 1	3.7	4.98
	AM 8 2	5.2	
	AM 8 3	6.6	
	AM 8 4	5.4	
	AM 8 5	4	
180	AM 9 1	5	4.82
	AM 9 2	3.5	
	AM 9 3	4.9	
	AM 9 4	6.7	
	AM 9 5	4	

Lampiran no. 21 Hasil MQ aspal beton modifikasi

Suhu Pematatan	Kode	MQ	Rata-rata MQ
°C		kg/mm	kg/mm
100	AM 1 1	409.792	247.201
	AM 1 2	165.664	
	AM 1 3	170.014	
	AM 1 4	155.749	
	AM 1 5	334.785	
110	AM 2 1	172.071	198.209
	AM 2 2	324.899	
	AM 2 3	122.639	
	AM 2 4	195.878	
	AM 2 5	175.556	
120	AM 3 1	164.057	221.863
	AM 3 2	167.380	
	AM 3 3	325.206	
	AM 3 4	246.616	
	AM 3 5	206.054	
130	AM 4 1	365.868	253.586
	AM 4 2	207.178	
	AM 4 3	198.638	
	AM 4 4	205.893	
	AM 4 5	290.354	
140	AM 5 1	399.776	341.422
	AM 5 2	297.134	
	AM 5 3	340.620	
	AM 5 4	407.314	
	AM 5 5	262.267	

Suhu Pemadatan	Kode	MQ	Rata-rata MQ
°C		kg/mm	kg/mm
150	AM 6 1	305.094	445.106
	AM 6 2	548.406	
	AM 6 3	423.910	
	AM 6 4	689.540	
	AM 6 5	258.581	
160	AM 7 1	521.711	492.67
	AM 7 2	570.398	
	AM 7 3	554.542	
	AM 7 4	440.155	
	AM 7 5	376.520	
170	AM 8 1	449.247	399.97
	AM 8 2	397.114	
	AM 8 3	260.611	
	AM 8 4	386.806	
	AM 8 5	506.052	
180	AM 9 1	433.719	423.31
	AM 9 2	598.651	
	AM 9 3	356.458	
	AM 9 4	279.443	
	AM 9 5	448.286	