



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RC146599

MODIFIKASI LATASTON LAPIS AUS (HRS-WEARING COURSE) DENGAN PENAMBAHAN LIMBAH BOTOL PLASTIK POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) DITINJAU DARI KARAKTERISTIK MARSHALL

ANNISA KARISMATIKA SARIANG
NRP. 10111410000049

Dosen Pembimbing
AMALIA FIRDAUS MAWARDI, ST., MT
NIP. 19770218 200501 2 002

PROGRAM STUDI DIPLOMA IV
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - RC146599

MODIFICATION OF HOT ROLLED SHEET WEARING COURSE WITH ADDED WASTE PLASTIC BOTTLES POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) ANALYSING FROM MARSHALL CHARACTERISTICS

ANNISA KARISMATIKA SARIANG
NRP. 10111410000049

Counselor Lecture
AMALIA FIRDAUS MAWARDI, ST., MT
NIP. 19770218 200501 2 002

DIPLOMA IV CIVIL ENGINEERING
Civil Infrastructure Engineering Department
Vocational Faculty
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

TUGAS AKHIR - RC146599

MODIFIKASI LATASTON LAPIS AUS (HRS-WEARING COURSE) DENGAN PENAMBAHAN LIMBAH BOTOL PLASTIK POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) DITINJAU DARI KARAKTERISTIK MARSHALL

ANNISA KARISMATIKA SARIANG
NRP. 10111410000049

Dosen Pembimbing
AMALIA FIRDAUS MAWARDI, ST., MT
NIP. 19770218 200501 2 002

PROGRAM STUDI DIPLOMA IV
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

FINAL PROJECT - RC146599

**MODIFICATION OF HOT ROLLED SHEET
WEARING COURSE WITH ADDED WASTE
PLASTIC BOTTLES POLYETHYLENE
TEREPHTHALATE (PET) ANALYSING FROM
MARSHALL CHARACTERISTICS**

ANNISA KARISMATIKA SARIANG
NRP. 10111410000049

Counselor Lecture
AMALIA FIRDAUS MAWARDI, ST., MT
NIP. 19770218 200501 2 002

DIPLOMA IV CIVIL ENGINEERING
Civil Infrastructure Engineering Department
Vocational Faculty
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

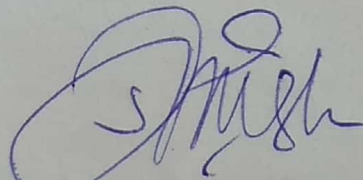
LEMBAR PENGESAHAN

MODIFIKASI LATASTON LAPIS AUS (HRS-WEARING COURSE) DENGAN PENAMBAHAN LIMBAH BOTOL PLASTIK POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) DITINJAU DARI KARAKTERISTIK MARSHALL

Tugas Akhir Terapan

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Sarjana Teknik Terapan pada
Program Studi Diploma IV
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 31. 07. 2018

Disusun Oleh:
MAHASISWA



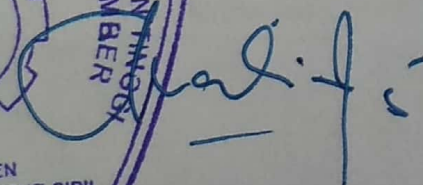
Annisa Karismatika Sariang

NRP 10111410000049



Disetujui Oleh Dosen Pembimbing
Tugas Akhir Terapan:

31 JUL 2018



Amalia Firdaus Mawardi, ST., MT

NIP. 19770218 200501 2 002



BERITA ACARA TUGAS AKHIR TERAPAN

PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda :
041523/IT2.VI.8.1/PP.05.02/2018

Tanggal : 17 Juli 2018

Judul Tugas Akhir Terapan	Modifikasi Lataston Lapis AUS (HRS-Wearing Course) Dengan Penambahan Limbah Botol Plastik PolyethyleneTerephthalate (PET) Ditinjau dari Karakteristik Marshall		
Nama Mahasiswa	Annisa Karismatika Sariang	NRP	10111410000049
Dosen Pembimbing 1	Amalia Firdaus Mawardi, ST., MT NIP 19770218 200501 2 002	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	NIP -	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
- Grafik set tanpa garis lurus ✓	 Ir. Rachmad Basuki, MS NIP 19641114 198903 1 001
- Tata tulis tabel & gambar. - tabel density ✓	 Dr. Machsus, ST. MT NIP 19730914 200501 1 002
- Lampiran - Metodologi studi ✓ - Struktur Umum, Jenis pekerjaan Rd. ✓ - Pekerjaan secara umum. (Gambar) ✓	 M. Khoiri, ST. MT. PhD NIP 19740626 200312 1 001
	Amalia Firdaus Mawardi, ST., MT NIP 19770218 200501 2 002

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
 Ir. Rachmad Basuki, MS NIP 19641114 198903 1 001	 Dr. Machsus, ST. MT NIP 19730914 200501 1 002	 M. Khoiri, ST. MT. PhD NIP 19740626 200312 1 001	 Amalia Firdaus Mawardi, ST., MT NIP 19770218 200501 2 002

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
	 Amalia Firdaus Mawardi, ST., MT NIP 19770218 200501 2 002	



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 Annisa Karismatika . S 2
NRP : 1011410000049 2
Judul Tugas Akhir : Modifikasi Latastun Lapis As (HRS-WC) dengan Penambahan Limbah Botol Plastik PET ditinjau dari Karakteristik Marshall
Dosen Pembimbing : Amalia Firdaus Mawardi /ST, MT

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1		- Detail Sumber Agregat.				
		- Penjelasan tabel dan nomor kolom pada JMF				
		- Glosari (Istilah yang digunakan)		B	C	K
2	18-4-2018	- Sample ditambah menjadi 5		☐	☒	☐
		- Uraian tiap metode				
		- Jadwal kegiatan / target penyelesaian				
				B	C	K
				☐	☒	☐
3	27-4-2018	- Penulisan menggunakan Mendeley				
		- Usahakan tidak ada penjelasan yang berulang		B	C	K
				☐	☐	☐
4	18-5-2018	- Kesimpulan dan bentuk grafik, jelaskan penurunannya.				
				B	C	K
				☐	☐	☐
5	4-6-2018	- Tambahan anggaran biaya untuk semua variasi kadar plastik.		☐	☐	☐
		- Perbaiki laporan dan tabel				
		- Penjelasan grafik tidak harus sama.		B	C	K
				☐	☐	☐

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 2
 NRP : 1 2
 Judul Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing :

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
6.	28 - 6 - 2018	- Kesimpulan diambil kadar plastik terbaik per karakteristik Marshall				
		- Untuk persentasi : video / animasi , bawa benda uji .		B	C	K
		- RAB memakai HSPK		☐	☒	☐
				B	C	K
				☐	☐	☐
				B	C	K
				☐	☐	☐
				B	C	K
				☐	☐	☐
				B	C	K
				☐	☐	☐

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

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GRAFIK	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 PET (<i>Polyethylene Terephthalate</i>)	5
2.2 Lapisan Tipis Aspal Beton (LATASTON).....	6
2.2.1 Unsur-unsur Lataston	9
2.2.1.1 Agregat Kasar.....	9
2.2.1.2 Agregat Halus.....	10
2.2.1.3 Filler	10
2.2.1.4 Aspal.....	11

2.3. Parameter Marshall.....	12
2.3.1. Kadar Aspal Optimum.....	12
2.3.2. Density.....	13
2.3.3. Rongga dalam Campuran (<i>Void in Mix</i>).....	13
2.3.4. Rongga diantara Mineral Agregat (VMA)	14
2.3.5. Rongga Terisi Aspal (<i>Void Filled with Asphalt</i>)	14
2.3.6. Stabilitas <i>Marshall</i>	15
2.3.7. Pelelehan (<i>Flow</i>).....	16
2.3.8. <i>Marshall Quotient</i>	16
2.4. Penelitian Terdahulu.....	17
2.5. Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu.....	22
2.6. Tebal Perkerasan	24
2.6.1. Parameter.....	24
2.6.2. Perhitungan Tebal Perkerasan	30
BAB III METODOLOGI.....	33
3.1 Alur Penelitian.....	33
3.1.1 Studi Literatur.....	33
3.1.2 Penentuan Spesifikasi	33
3.1.3 Persiapan Alat dan Bahan.....	33
3.1.4 Uji Material	35
3.1.5 Job Mix Formula dan Combine Agregat	37
3.1.6 Pembuatan Benda Uji Lataston Lapis Aus	38
3.1.7 Uji Marshall.....	39

3.1.8 Pembuatan Benda Uji Pencampuran Lataston Lapis Aus dengan PET	39
3.1.9 Analisis Data dan Pembahasan.....	41
3.1.10 Penarikan Kesimpulan dan Saran.....	41
BAB IV PEMBAHASAN.....	45
4.1 Hasil Pengujian Material	45
4.1.1 Analisa Saringan.....	45
4.1.2 Berat Jenis dan Penyerapan.....	49
4.1.3 Hasil Pengujian Aspal	52
4.2 Hasil Perencanaan Proporsi Agregat Campuran	53
4.2.1 Combined Aggregate.....	53
4.3 Perencanaan Pembuatan Benda Uji.....	57
4.3.1 Penentuan Kadar Aspal Rencana	57
4.3.2 Variasi Nilai Kadar Aspal	61
4.4 Pengujian Marshall Kadar Aspal Rencana	63
4.4.1 Kepadatan (<i>Density</i>)	64
4.4.2 Rongga Dalam Campuran (<i>Void in Mix</i>).....	66
4.4.3 Rongga Dalam Mineral Agregat (<i>VMA</i>)	69
4.4.4 Rongga Terisi Aspal (<i>Void Filled with Asphalt</i>)	72
4.4.5 Stabilitas Marshall.....	74
4.4.6 Pelelehan (<i>Flow</i>).....	75
4.4.7 <i>Marshall Qoutient</i>	77
4.4.8 Kadar Aspal Optimum.....	79
4.5 Perencanaan Pembuatan Benda Uji Campuran PET	80

4.6 Pengujian Marshall Benda Uji Campuran PET	82
4.6.1 Density.....	83
4.6.2 Rongga Dalam Campuran (<i>Void in Mix</i>).....	85
4.6.3 Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA).....	87
4.6.4 Rongga Terisi Aspal (<i>Void Filled with Asphalt</i>)	89
4.6.5 Stabilitas Marshall	91
4.6.6 Pelelehan (<i>Flow</i>).....	93
4.6.7 Marshall Quotient.....	94
4.6.8 Rekapitulasi Hasil Penelitian Aspal Plastik.....	96
4.7 Perbandingan Campuran Aspal	98
4.7.1 Parameter Marshall.....	98
4.7.2 Anggaran Biaya	102
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	107
5.1 Kesimpulan.....	107
5.2 Saran.....	107
DAFTAR PUSTAKA	109
LAMPIRAN A	
LAMPIRAN B	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal.....	7
Tabel 2.2. Spesifikasi untuk Campuran Lataston	8
Tabel 2.3 Persyaratan untuk Agregat Kasar	9
Tabel 2.4 Gradasi untuk Agregat Kasar	9
Tabel 2.5 Persyaratan untuk Agregat Halus	10
Tabel 2.6 Gradasi untuk Agregat Halus	10
Tabel 2.7 Gradasi untuk Filler	11
Tabel 2.8 Hasil pengujian Marshall tanpa campuran plastik PET pada aspal	21
Tabel 2.9 Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu.....	22
Tabel 2.10 Faktor Regional	25
Tabel 2.11 Indeks Permukaan Awal (IP_0)	26
Tabel 2.12 Indeks Permukaan Akhir (IP_t)	27
Tabel 2.13 Angka Ekuivalen (E) beban sumbu kendaraan.....	28
Tabel 2.14 Jumlah Lajur berdasarkan lebar perkerasan.....	29
Tabel 2.15 Koefisien Distribusi Kendaraan (C)	29
Tabel 2.16 Koefisien Kekuatan Relatif (a)	31
Tabel 2.17 Batas-batas Minimum Tebal Perkerasan	32
Tabel 3.1 Spesifikasi pengujian aspal.....	36
Tabel 3.2 Spesifikasi pengujian berat jenis agregat.....	36
Tabel 4.1 Analisa saringan agregat kasar (10-20 mm)	46
Tabel 4.2 Analisa saringan agregat medium (10-10 mm)	47

Tabel 4.3 Analisa saringan pasir.....	48
Tabel 4.4 Analisa saringan agregat halus (0-5 mm)	48
Tabel 4.5 Hasil uji berat jenis dan penyerapan agregat	50
Tabel 4.6 Hasil pengujian karakteristik aspal	52
Tabel 4.7 Hasil persentase <i>Combined Aggregate</i>	55
Tabel 4.8 Proporsi campuran kadar aspal 6,7%.....	61
Tabel 4.9 Proporsi campuran kadar aspal 7,2%.....	62
Tabel 4.10 Proporsi campuran kadar aspal 7,7%.....	62
Tabel 4.11 Proporsi campuran kadar aspal 8,2%.....	63
Tabel 4.12 Proporsi campuran kadar aspal 8,7%.....	63
Tabel 4.13 Hasil perhitungan <i>Density</i>	65
Tabel 4.14 Data berat jenis agregat.....	66
Tabel 4.15 Hasil perhitungan nilai VIM	67
Tabel 4.16 Hasil perhitungan nilai VMA	70
Tabel 4.17 Hasil perhitungan nilai VFA	72
Tabel 4.18 Hasil perhitungan nilai stabilitas marshall.....	74
Tabel 4.19 Hasil perhitungan nilai pelelehan (<i>flow</i>).....	76
Tabel 4.20 Hasil perhitungan nilai <i>Marshall Quotient</i>	78
Tabel 4.21 Nilai kadar aspal optimum setelah uji marshall	80
Tabel 4.22 Proporsi campuran kadar plastik 2%	81
Tabel 4.23 Proporsi campuran kadar plastik 4%	81
Tabel 4.24 Proporsi campuran kadar plastik 6%	81
Tabel 4.25 Proporsi campuran kadar plastik 8%	82
Tabel 4.26 Berat agregat tiap saringan	82

Tabel 4.27 Hasil perhitungan <i>Density</i>	83
Tabel 4.28 Hasil perhitungan nilai VIM.....	85
Tabel 4.29 Hasil perhitungan nilai VMA	87
Tabel 4.30 Hasil perhitungan nilai <i>VFA</i>	89
Tabel 4.31 Hasil perhitungan nilai stabilitas marshall.....	91
Tabel 4.32 Hasil perhitungan nilai pelelehan (<i>flow</i>).....	93
Tabel 4.33 Hasil perhitungan nilai <i>Marshall Quotient</i>	95
Tabel 4.34 Rekap hasil penelitian aspal plastik.....	96
Tabel 4.35 Rekap hasil uji Marshall aspal plastik	97
Tabel 4.36 Data persentase dan berat jenis.....	103
Tabel 4.37 Koefisien dan Harga Satuan HSPK	103
Tabel 4.38 Anggaran biaya Lataston Lapis Aus tanpa penambahan <i>PET</i>	104
Tabel 4.39 Anggaran biaya Lataston Lapis Aus dengan penambahan <i>PET</i> 6%	104

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”

DAFTAR GRAFIK

Grafik 2.1 Grafik Bar-Chart untuk Penentuan KAO (Kadar Aspal Optimum)	18
Grafik 2.2 Grafik Nilai stabilitas akibat penambahan PET	19
Grafik 2.3 Grafik hubungan stabilitas campuran terhadap variasi kadar plastik	20
Grafik 4.2 Grafik hasil perhitungan <i>density</i>	66
Grafik 4.3 Grafik hasil perhitungan <i>VIM</i>	69
Grafik 4.4 Grafik hasil perhitungan <i>VMA</i>	71
Grafik 4.5 Grafik hasil perhitungan <i>VFA</i>	73
Grafik 4.6 Grafik hasil pengujian Stabilitas Marshall.....	75
Grafik 4.7 Grafik hasil pengujian pelelehan (<i>flow</i>)	77
Grafik 4.8 Grafik hasil perhitungan <i>Marshall Quotient</i>	79
Grafik 4.9 Grafik hasil perhitungan <i>density</i>	84
Grafik 4.10 Grafik hasil perhitungan <i>VIM</i>	86
Grafik 4.12 Grafik hasil perhitungan <i>VFA</i>	90
Grafik 4.13 Grafik hasil pengujian Stabilitas Marshall.....	92
Grafik 4.14 Grafik hasil pengujian pelelehan (<i>flow</i>)	94
Grafik 4.15 Grafik hasil perhitungan <i>Marshall Quotient</i>	96
Grafik 4.20 Grafik perbandingan nilai <i>Density</i> benda uji dengan dan tanpa PET	100
Grafik 4.21 Grafik perbandingan nilai <i>VMA</i> benda uji dengan dan tanpa PET	101
Grafik 4.21 Grafik perbandingan nilai <i>VFA</i> benda uji dengan dan tanpa PET	102

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	43
Gambar 4.1 Grafik Combined Aggregate	56

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A

Tabel 1 Anggaran biaya Lataston Lapis Aus dengan penambahan PET 2% per m³

Tabel 2 Anggaran biaya Lataston Lapis Aus dengan penambahan PET 4% per m³

Tabel 3 Anggaran biaya Lataston Lapis Aus dengan penambahan PET 8% per m³

Tabel 4 Rekap hasil penelitian aspal plastik

Tabel 5 Rekap hasil uji Marshall aspal plastik

LAMPIRAN B

Gambar 1. Pengujian Agregat

Gambar 1.a Alat Analisa Saringan

Gambar 1.b Proses penimbangan agregat

Gambar 1.c Proses penimbangan piknometer + air

Gambar 1.d Proses penimbangan piknometer + air + benda uji

Gambar 1.e Kondisi agregat halus SSD

Gambar 2 Pengujian Aspal

Gambar 2.a Proses penimbangan piknometer + air

Gambar 2.b Proses penimbangan piknometer + air + benda uji

Gambar 2.c Proses pengujian Daktilitas Aspal

Gambar 2.d Benda uji pengujian Daktilitas Aspal

Gambar 2.e Benda uji pengujian Tiitk Lembek Aspal

Gambar 3 Pembuatan Benda Uji

Gambar 3.a Proses memanaskan agregat

Gambar 3.b Agregat yang telah ditimbang sesuai variasi

Gambar 3.c Proses penimbangan berat benda uji kering
6%

Gambar 3.d Proses penimbangan berat benda uji kering
0%

**MODIFIKASI LATASTON LAPIS AUS (HRS-WEARING
COURSE) DENGAN PENAMBAHAN LIMBAH BOTOL
PLASTIK POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET)
DITINJAU DARI KARAKTERISTIK MARSHALL**

Mahasiswa : Annisa Karismatika Sariang
NRP : 10111410000049
Dosen Pembimbing : Amalia Firdaus Mawardi, ST., MT
NIP : 19770218 200501 2 002

ABSTRAK

Sampah merupakan salah satu persoalan utama yang ada di Indonesia. Menurut Direktorat Jenderal Pengelolaan Sampah, Limbah, dan B3 KLHK (2016) total jumlah sampah plastik diperkirakan akan mencapai 9,52 juta Ton atau 14 persen dari total sampah yang ada. Hanya 5 persen dari sampah tersebut yang benar – benar di daur ulang. Disisi lain, pemerintah menargetkan akan membangun 258 km jalan baru dan perbaikan 5.000 km jalan nasional di sejumlah daerah di Indonesia. Dalam konstruksi jalan, HRS merupakan salah satu jenis perkerasan yang biasanya digunakan untuk lalu lintas ringan-sedang. Tugas akhir ini bertujuan untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan mengembangkan inovasi aspal modifikasi dengan penambahan limbah plastik PET, menganalisa dan mengevaluasi campuran plastik tersebut terhadap Lataston Lapis Aus (WC) ditinjau dari karakteristik Marshall.

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap. Uji material dilakukan untuk mengetahui apakah material yang digunakan memenuhi spesifikasi atau tidak. Uji material dibagi menjadi 2 yaitu Uji Aspal dan Uji Agregat. PET yang telah dicacah (50 x 50) mm di campurkan ke dalam aspal panas. Metode pencampuran PET dan Lataston menggunakan metode basah.

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini yaitu, dengan adanya penambahan plastik *PET* pada Lataston Lapis Aus menyebabkan adanya peningkatan nilai Stabilitas sebanyak 44%, *VIM* sebesar 99%, dan *Marshall Quotient* sebesar 150%. Namun terjadi penurunan pada nilai *flow* sebesar 23%. Serta dapat mengurangi anggaran biaya sebesar 1,3%.

Kata Kunci : PET, Lataston Lapis Aus, Marshall

**MODIFICATION OF HOT ROLLED SHEET WEARING
COURSE WITH ADDED WASTE PLASTIC BOTTLES
POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET)
ANALYSING FROM MARSHALL CHARACTERISTICS**

Mahasiswa : Annisa Karismatika Sariang
NRP : 10111410000049
Counselor Lecture : Amalia Firdaus Mawardi, ST., MT
NIP : 19770218 200501 2 002

ABSTRACT

Garbage is one of the main problems in Indonesia. According to the Direktorat Jenderal Pengelolaan Sampah, Limbah dan B3 KLHK (2016) the total amount of plastic waste is estimated to reach 9.52 million tons or 14 percent of the total waste. Only 5 percent of the waste is actually recycled. On the other hand, the government targets to build 258 km of new roads and 5,000 km of national road improvement in several regions in Indonesia. In road construction, HRS is one type of pavement that is normally used for light-medium traffic. There are two types of HRS, HRS-wearing courses and HRS-base. This final project aims to overcome these problems by developing innovation of modified asphalt with the addition of PET plastic waste, analyzing and evaluating the plastic mixture against HRS (WC) in terms of Marshall characteristics.

This research was conducted with several stages. The material test is carried out to determine whether the material used meets the specifications or not. The material test is divided into 2 ie Asphalt Test and Aggregate Test. PET that has been chopped (50 x 50) mm mixed in hot asphalt. The PET and HRS mixing methods use the wet method.

The results obtained from this research is that with the addition of PET plastic on Lataston Lapis Aus causes an increase in Stability value by 44%, VIM by 99%, and Marshall Quotient by 150%. However, there was a decrease in the flow rate by 23%. And can reduce the cost budget by 1.3%.

Key Word: PET, HRS Wearing Course, Marshall

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena berkat Rahmat dan Karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Modifikasi Lataston Lapis Aus (*HRS-Wearing Course*) dengan Penambahan Limbah Botol Plastik *Polyethylene Terephthalate (PET)* Ditinjau dari Karakteristik Marshall”.

Dalam penyusunan dan penulisan Tugas Akhir ini, Penulis tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Ibu Amalia Firdaus Mawardi, ST., MT selaku dosen pembimbing.
2. Orang tua kami yang telah memberi dorongan baik moril maupun materil.
3. Semua pihak dan instansi yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir.
4. Serta teman – teman yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir.

Semoga Allah SWT memberikan balasan yang berlipat ganda kepada semuanya.

Demikian yang dapat penulis sampaikan. Semoga penulisan Tugas Akhir ini dapat berguna.

Surabaya, 17 Juli 2018

Penulis,

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sampah merupakan salah satu persoalan utama yang ada di Indonesia. Menurut Direktorat Jenderal Pengelolaan Sampah, Limbah, dan B3 KLHK (2016) total jumlah sampah di Indonesia akan mencapai 68 juta Ton pada tahun 2019, sedangkan sampah plastik diperkirakan akan mencapai 9,52 juta Ton atau 14 persen dari total sampah yang ada. Sedangkan Surabaya menghasilkan sekitar 1.500 ton sampah per hari dengan proporsi 40% sampah anorganik. Lebih dari 1 juta kantong plastik digunakan setiap menitnya, dan 50 persen dari kantong plastik tersebut dipakai hanya sekali langsung dibuang, sedangkan hanya 5 persen yang benar – benar di daur ulang. Hal ini menunjukkan bahwa dibutuhkan adanya inovasi pengolahan limbah plastik untuk dapat menekan jumlah limbah plastik setiap tahunnya. (DKRTH, 2016)

Disisi lain, menurut Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum, jalan nasional sepanjang 5.000 dari total 34.628 kilometer di sejumlah daerah di Indonesia dalam kondisi rusak sehingga membutuhkan perbaikan. Saat ini, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) melalui Direktorat Jenderal Bina Marga menargetkan akan membangun sekitar 258 kilometer jalan baru di wilayah perbatasan Indonesia. (Dirjen Bina Marga, 2016)

Dalam konstruksi jalan, HRS merupakan salah satu jenis perkerasan yang biasanya digunakan untuk lalu lintas ringan-sedang. Terdapat dua jenis campuran Lataston yaitu untuk lapis aus (HRS-wearing course) dan Lataston untuk lapis pondasi (HRS-base). Perbedaan keduanya adalah gradasi Lataston untuk lapis permukaan lebih halus dibandingkan gradasi lataston untuk lapis pondasi, yang akan menghasilkan Lataston untuk lapis

permukaan mempunyai tekstur yang lebih halus dibandingkan Lataston untuk lapis pondasi. (Suryana dkk, 2004)

Berdasarkan fakta di atas, kedua permasalahan tersebut dapat diatasi dengan mengembangkan inovasi aspal modifikasi dengan penambahan limbah plastik yang nantinya akan digunakan dalam pembangunan infrastruktur jalan baru maupun perbaikan jalan di Indonesia. Dengan adanya inovasi tersebut diharapkan dapat mengurangi jumlah limbah plastik dan meminimalisir biaya dalam pembuatan lapisan perkerasan. Selain itu, penambahan limbah plastik juga diharapkan dapat meningkatkan kualitas aspal. Oleh karena itu, diperlukan suatu penelitian terkait inovasi tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan di bahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana merancang proporsi campuran Lataston Lapis Aus (WC) dengan tambahan plastik tipe PET (*Polyethylene Terephthalate*)?
2. Bagaimana menganalisa dan mengevaluasi campuran kadar plastik terhadap Lataston Lapis Aus (WC)?
3. Bagaimana pengaruh penambahan plastik tipe PET (*Polyethylene Terephthalate*) dari segi anggaran biaya dalam pembuatan Lataston Lapis Aus (WC) ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui proporsi campuran Lataston Lapis Aus (WC) dengan tambahan plastik tipe PET (*Polyethylene Terephthalate*).

2. Menganalisa dan mengevaluasi campuran kadar plastik terhadap Lataston Lapis Aus(WC) dengan parameter Marshall yaitu kerapatan campuran (*density*), presentase rongga dalam campuran (*VIM*), presentase rongga diantara mineral agregat (*VMA*), persentase rongga terisi aspal (*VFA*), stabilitas *Marshall*, kelelehan (*Flow*), dan hasil bagi *Marshall* (*Marshall Quotient*).
3. Mengetahui pengaruh penambahan plastik tipe PET (*Polyethylene Terephthalate*) dari segi anggaran biaya dalam pembuatan Lataston Lapis Aus (WC) ?

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Dapat mengurangi jumlah limbah plastik khususnya PET
2. Dapat menjadi bahan pertimbangan bagi kontraktor jalan untuk menggunakan limbah plastik sebagai tambahan pada Lataston lapis aus
3. Dapat meminimalisir biaya dalam pembuatan aspal biasa
4. Dapat meningkatkan kualitas aspal dan nilai tambah plastik sebagai bahan konstruksi

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan lebih terarah, dibuat batasan masalah sebagai berikut :

1. Jenis perkerasan adalah Lataston lapis WC
2. Jenis botol plastik yang digunakan tipe 1 *Polyethylene Terephthalate*
3. Jenis aspal dengan penetrasi 60/70
4. Gradasi agregat yaitu gradasi senjang
5. Kadar penambahan plastik dengan variasi 0%; 2%; 4%; 6%; dan 8% dari berat aspal

6. Tidak membahas kandungan unsur kimia yang terkandung dalam bahan - bahan penelitian dan reaksi kimia yang terjadi pada campuran akibat penggunaan plastik dan aspal

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PET (*Polyethylene Terephthalate*)

PET adalah hasil kondensasi polimer etilen glikol dan asam treptalat yang berasal dari minyak bumi, dan dikenal dengan nama dagang *mylar*, terdiri atas monomer *ethylene teraphtelate* dengan rumus molekul $C_{10}H_8O_4$. Sifat plastik jenis ini adalah tembus pandang (transparan), bersih dan jernih. Tahan terhadap pelarut organik seperti asam-asam organik dari buah-buahan sehingga dapat digunakan untuk mengemas minuman sari buah serta kuat dan tidak mudah sobek. Pada keadaan hangat atau panas, lapisan polimer akan meleleh dan mengeluarkan karsinogenik yang dalam jangka panjang dapat menyebabkan kanker. (Mediastika, C.E., 2013)

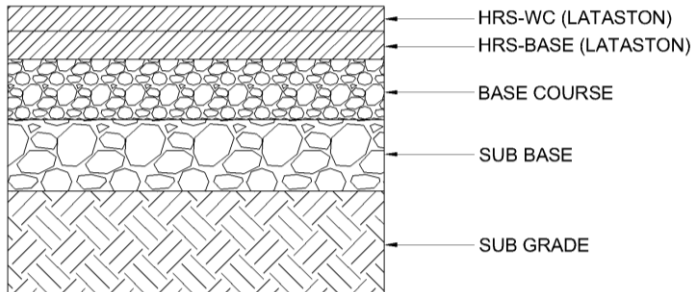
Biasanya, pada bagian bawah kemasan botol plastik, tertera logo daur ulang dengan angka 1 di tengahnya dan tulisan PETE atau PET (polyethylene terephthalate) di bawah segitiga. Polyethylene adalah bahan termoplastik yang transparan, berwarna putih yang mempunyai titik leleh bervariasi antara 110-137°C. Umumnya Polyethylene tahan terhadap zat kimia. Monomernya, yaitu etana, diperoleh dari hasil perengkehan (cracking) minyak atau gas bumi. (Billmeyer, 1994). Penggunaan Polyethylene sekitar 6-18% dari berat kadar aspal optimum bisa mengurangi deformasi pada perkerasan jalan dan bisa meningkatkan fatigue resistance sekaligus bisa memberikan peningkatan daya adhesi antara aspal dan agregat. (Mohammad T. A. & Lina.S, 2007)

2.2 Lapisan Tipis Aspal Beton (LATASTON)

Lapisan Tipis Aspal Beton (LATASTON) merupakan lapis penutup yang terdiri dari campuran antara agregat bergradasi timpang, filler, dan aspal keras dengan perbandingan tertentu yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Tebal padat perkerasan antara 25 sampai 30 mm. Lataston mempunyai persyaratan kekuatan yang sama dengan tipikal yang disyaratkan untuk aspal beton konvensional (Asphalt Concrete, AC) yang tidak bergradasi menerus. (Suryana dkk, 2004)

Terdapat dua jenis campuran Lataston yaitu untuk lapis permukaan (HRS-wearing course) dan Lataston untuk lapis pondasi (HRS-base). Ukuran maksimum untuk masing-masing jenis campuran Lataston adalah 19 mm (3/4 inci). Perbedaan keduanya adalah gradasi Lataston untuk lapis permukaan lebih halus dibandingkan gradasi Lataston untuk lapis pondasi, yang akan menghasilkan Lataston untuk lapis permukaan mempunyai tekstur yang lebih halus dibandingkan Lataston untuk lapis pondasi. Lataston sebaiknya digunakan pada jalan dengan lalu-lintas ringan sampai sedang ($< 1.000.000$ SST). Gradasi agregat harus benar-benar senjang. Untuk memperolehnya, hampir selalu diperlukan gabungan antara pasir halus dengan batu pecah. (Suryana dkk, 2004)

Dibawah lapisan HRS, terdapat lapisan structural yaitu Base Course, Sub Base, dan Sub Grade. Untuk susunan perkerasan pada Lataston dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Struktur lapisan perkerasan Lataston

Tabel 2.1. Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat dalam Campuran			
	Lataston (HRS)			
	Gradasi Senjang		Gradasi Semi Senjang	
	WC	Base	WC	Base
37,5				
25				
19	100	100	100	100
12,5	90-100	90-100	87-100	90-100
9,5	75-85	65-90	55-88	55-70
4,75				
2,36	50-72	35-55	50-62	32-44
1,18				
0,600	35-60	15-35	20-45	15-35
0,300			15-35	5-35
0,150				
0,075	6-10	2-9	6-10	4-8

Sumber : Bina Marga 2010

Untuk campuran Lataston, semakin halus gradasi (mendekati batas atas), maka Rongga dalam Mineral Agregat (VMA) akan makin besar. Pasir halus yang dikombinasi dengan batu pecah harus mempunyai bahan yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm) dan tertahan pada saringan No. 100 (600 mikron) sesedikit mungkin. Hal ini sangat penting karena bahan yang 'senjang' harus tidak lebih dari batas yang diberikan, yaitu disyaratkan agar minimum 80 % dari agregat yang lolos 2,36 mm harus lolos juga pada saringan 0,600 mm. Jika jumlah bahan tersebut lebih besar dari yang ditentukan dalam kondisi 'senjang', maka VMA akan terlalu rendah sehingga campuran sulit mencapai VMA yang diinginkan. (Suryana dkk, 2004)

Tabel 2.2. Spesifikasi untuk Campuran Lataston

Sifat-sifat campuran		Lataston	
		Lapis Aus	
		Senjang	Semisenjang
Kadar aspal efektif (%)	Min	5,9	5,9
Penyerapan aspal (%)	Maks	1,7	
Jumlah tumbukan per bidang		75	
Rongga dalam campuran (%)	Min	4,0	
	Maks	6,0	
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	18	
Rongga terisi aspal (%)	Min	68	
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800	
Pelelehan (mm)	Min	3	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	250	
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min	90	
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min	3	

Sumber : Bina Marga 2010

2.2.1 Unsur-unsur Lataston

2.2.1.1 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat dengan ukuran terkecil yang tertahan di atas saringan no. 8 (2,38 mm) atau partikel yang lebih besar 4,75 mm menurut ASTM, lebih besar dari 2 mm menurut AASHTO (Sukirman, 1992: 42).

Tabel 2.3 Persyaratan untuk Agregat Kasar

Pengujian	Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	SNI 03-3407-1994	Maks 12%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 03-2439-1991	Maks 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1991	Min 95%
Partikel pipih dan lonjong	ASTM d-4791	Maks 10%
Material lolos saringan no.200	SNI 03-4142-1996	Maks 1%

Sumber : Bina Marga 2010

Tabel 2.4 Gradasi untuk Agregat Kasar

Ukuran Saringan		% lolos saringan
inci	mm	
3/4"	19,1	100
1/2"	12,7	30 - 100
3/8"	9,52	0 – 55
No. 3	6,35	0 - 60

Sumber : Bina Marga 2010

Agregat kasar yang digunakan yaitu batu pecah atau kerikil dengan ketentuan seperti pada **Tabel 2.3** dan **Tabel 2.4**.

2.2.1.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat dengan ukuran terkecil yang tertahan di atas saringan no. 200 (0,074 mm). Agregat halus terdiri dari butir-butir pecahan batu atau pasir alam maupun campuran kedua-duanya dengan ketentuan seperti pada **Tabel 2.5** dan **Tabel 2.6**.

Tabel 2.5 Persyaratan untuk Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min 50%
Material lolos saringan No. 200	SNI 03-4428-1997	Maks 8%

Sumber : Bina Marga 2010

Tabel 2.6 Gradasi untuk Agregat Halus

Ukuran Saringan		% lolos saringan
inci	mm	
3/4"	4,76	100
3/8"	2,38	95 - 100
No. 4	0,595	75 - 100
No. 80	0,177	13 - 50
No. 200	0,075	0-5

Sumber : Bina Marga 2010

2.2.1.3 Filler

Bahan pengisi (filler) adalah agregat halus dengan partikel yang umumnya lolos saringan no. 200 atau lebih kecil dari 0,0075 mm menurut AASHTO (Sukirman, 1992 : 42) dengan persyaratan seperti **Tabel 2.7**.

Tabel 2.7 Gradasi untuk Filler

Jenis Pengujian	Spesifikasi	
Gradasi ukuran saringan (inci)	Min.	Maks.
No. 30	100	100
No. 50	95	100
No. 100	90	100
No. 200	65	100
Berat jenis	2,5	-

Sumber : Bina Marga 2010

2.2.1.4 Aspal

Aspal yang dipergunakan pada konstruksi perkerasan jalan berfungsi sebagai:

1. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat, dan antara aspal itu sendiri.
2. Bahan pengisi, mengisi rongga antara butir-butir agregat dan pori-pori yang ada dari segi itu sendiri.
3. Lapisan kedap air, yaitu menyelimuti permukaan butir agregat sehingga tahan terhadap pengaruh garam, asam dan basa.

Sifat-sifat aspal adalah sebagai berikut:

1. Daya tahan (*durability*)

Daya tahan (*durability*) adalah kemampuan aspal menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan air dan perubahan suhu ataupun keausan akibat gesekan roda kendaraan.

2. Adesi dan Kohesi

Adesi adalah kemampuan aspal untuk mengikat agregat sehingga dihasilkan ikatan yang baik antara agregat dengan aspal. Kohesi adalah kemampuan aspal untuk

mempertahankan agregat tetap di tempatnya setelah terjadi pengikatan.

3. Kepekaan terhadap temperatur

Aspal adalah material yang termoplastis, berarti akan menjadi keras atau kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur bertambah.

4. Kekerasan aspal

Aspal pada proses pencampuran dipanaskan dan dicampur dengan agregat sehingga agregat dilapisi aspal atau aspal panas disiramkan ke permukaan agregat yang telah disiapkan (pada proses pelaburan). Pada proses pemanasan inilah akan terjadi pengerasan. Peristiwa pengerasan akan mengakibatkan terjadinya proses perapuhan yang terus berlangsung setelah masa pelaksanaan selesai.

2.3. Parameter Marshall

2.3.1. Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal yang terpakai dalam campuran dan nantinya akan dihampar di lapangan merupakan definisi dari kadar aspal optimum. Kadar aspal optimum menjadi persyaratan mutlak dalam setiap campuran lapis perkerasan beraspal. Besaran kadar aspal optimum berbeda-beda, tergantung dari ciri aspal, agregat, gradasi agregat dan jenis campuran itu sendiri. (Suryana dkk, 2004)

Spesifikasi umum 2010 menjelaskan dan mengatur bahwa ketentuan sifat – sifat campuran Lataston (WC) harus sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan. Berikut sifat – sifat campuran Lataston yang harus dipenuhi :

- a. Density
- b. Rongga dalam campuran (*Void in The Mix*)
- c. Rongga Terisi Aspal (*Void Filled with Asphalt*)

d. Stabilitas Marshall

e. Kelelehan (*Flow*)

Pada penentuan kadar aspal optimum untuk suatu kombinasi agregat atau gradasi tertentu dalam pengujian Marshall, perlu disiapkan suatu seri dari contoh uji dengan interval kadar aspal yang berbeda sehingga didapatkan suatu kurva lengkung yang teratur. Pengujian agar direncanakan dengan dasar ½ % kenaikan kadar aspal dengan perkiraan minimum dua kadar aspal diatas optimum dan dua kadar aspal dibawah optimum.

2.3.2. Density

Kepadatan adalah tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan. Kepadatan (*density*) adalah 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. (Suryana dkk, 2004)

$$Density = \left(\frac{Wb + Ws}{Vmb} \right) \times \gamma_w$$

2.3.3. Rongga dalam Campuran (*Void in Mix*)

Rongga dalam campuran yaitu volume total udara yang berada diantara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan, dinyatakan dengan persen volume bulk suatu campuran. Rongga pada campuran juga dinyatakan sebagai persen dari total volume benda uji, merupakan volume pada campuran yang tidak terisi agregat dan aspal. (Suryana dkk, 2004)

Rongga udara (VIM) setelah selesai dipadatkan idealnya adalah 8 %. Rongga udara yang kurang jauh dari 8 % akan rentan terhadap pelelehan, alur dan deformasi plastis. Sementara VIM setelah selesai pemadatan yang jauh dari 8 % akan rentan terhadap retak dan pelepasan butir (disintegrasi). Untuk mencapai nilai lapangan tersebut dalam spesifikasi, nilai VIM rencana dibatasi pada interval 3 % sampai 6 %. Dengan kepadatan lapangan dibatasi minimum 98 %.

Tujuan perencanaan VIM adalah untuk membatasi penyesuaian kadar aspal rencana pada kondisi VIM mencapai tengah-tengah rentang spesifikasi, atau dalam hal khusus agar mendekati batas terendah rentang yang disyaratkan serta agar campuran mendekati kesesuaian dengan hasil uji di laboratorium.

2.3.4. Rongga diantara Mineral Agregat (VMA)

Rongga pada agregat mineral (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 (bulk) dan dinyatakan dalam persentase dari volume curah campuran padat. (Suryana dkk, 2004)

$$\%VMA = \left(\frac{V_{be} + V_a}{V_{mb}} \right) \times 100$$

Batas minimum VMA tergantung pada ukuran maksimum agregat yang digunakan. Hubungan antara kadar aspal dengan VMA pada umumnya membentuk cekungan dengan satu nilai minimum, kemudian naik lagi dengan naiknya kadar aspal.

2.3.5. Rongga Terisi Aspal (*Void Filled with Asphalt*)

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 banyak kadar aspal campuran tersebut. Sehingga kriteria VFA dapat menggantikan kriteria kadar aspal dan tebal lapisan film aspal (*asphalt film thicknes*). (Suryana dkk, 2004)

$$\%VFA = \left(\frac{VMA - Pa}{VMA} \right) \times 100$$

Dengan,

VFA = Rongga terisi aspal (%)

VMA = Rongga dalam agregate mineral (%)

Pa = Rongga udara dalam campuran padat (%)

Kriteria VFA menyediakan tambahan faktor keamanan dalam merencanakan dan melaksanakan campuran beraspal panas. Karena perubahan dapat terjadi antara tahap perencanaan dan pelaksanaan, maka kesalahan-kesalahan dapat ditampung dengan memperlebar rentang yang dapat diterima.

2.3.6. Stabilitas *Marshall*

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, S (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 P.E dan Suryaman F. (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.

2.3.7. Pelelehan (*Flow*)

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

Menurut Roberts, F. L (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.

2.3.8. Marshall Quotient

Menurut Bustaman (2000) menyatakan bahwa *Marshall Quotient* merupakan hasil bagi dari stabilitas terhadap kelelehan yang digunakan untuk pendekatan terhadap tingkat kekakuan atau fleksibilitas campuran. Nilai Marshall Quotient yang tinggi menunjukkan nilai kekakuan lapis keras yang tinggi. Lapis keras yang mempunyai nilai Marshall Quotient terlalu tinggi akan mudah terjadi retakretak akibat beban lalu lintas yang berulang-

ulang. Sebaliknya nilai Marshall Quotient yang terlalu rendah menunjukkan campuran terlalu fleksibel (plastis) yang mengakibatkan lapis keras akan 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 Marshall Quotient dinyatakan dalam kg/mm. (Hardiyatmo, H.C, 2007).

2.4. Penelitian Terdahulu

- a. Prameswari P.A, dkk (2016) dalam jurnal yang berjudul Pengaruh Pemanfaatan PET pada Laston Lapis Pengikat Terhadap Parameter Marshall. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan PET (Polyethylene Terephthalate) pada campuran aspal beton lapis pengikat (AC-BC) terhadap karakteristik Marshall dengan acuan Spesifikasi Bina Marga 2010. Pencampuran PET dengan campuran aspal dilakukan dengan cara kering. Kadar plastik yang digunakan yaitu 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% dari berat aspal. Aspal yang digunakan yaitu aspal Pertamina dengan penetrasi 60/70. Kadar aspal yang digunakan yaitu 4,5%; 5%; 5,5%; 6%; 6,5%; 7%. Pengaruh penambahan PET pada Laston Lapis Pengikat terhadap karakteristik Marshall dapat dilihat pada tabel berikut.

Berdasarkan grafik berikut, kadar aspal yang memenuhi ke enam sifat campuran adalah 6,44 % untuk gradasi batas tengah dan 6,69 % untuk gradasi batas atas. Maka diambil Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6,44% karena nilai tersebut lebih mendekati nilai Pb. Selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji KAO untuk pengujian karakteristik marshall. Diperoleh hasil untuk

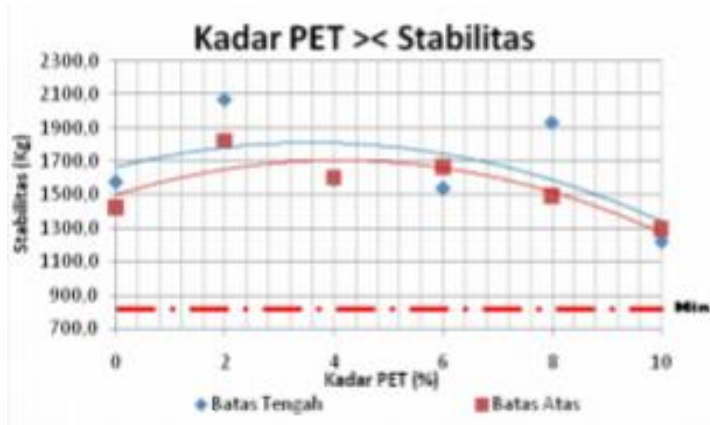
kelompok gradasi batas tengah maupun batas atas yang memenuhi spesifikasi.

Sifat-sifat Campuran	Rentang Kadar Aspal yang Memenuhi Persyaratan					
	4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
Stabilitas Marshall						
Kelelehan (<i>flow</i>)						
<i>Marshall Quotient</i> (MQ)						
Void in Mix (VIM)						
Void in Mineral Aggregate (VMA)						
Void Filled with Asphalt (VFA)						
Kadar Aspal Optimum					6,44%	

 Benda uji 1
 Benda uji 2

Grafik 2.1 Grafik Bar-Chart untuk Penentuan KAO (Kadar Aspal Optimum)

Sumber : Prameswari P.A, dkk (2016) Jurnal



Grafik 2.2 Grafik Nilai stabilitas akibat penambahan PET

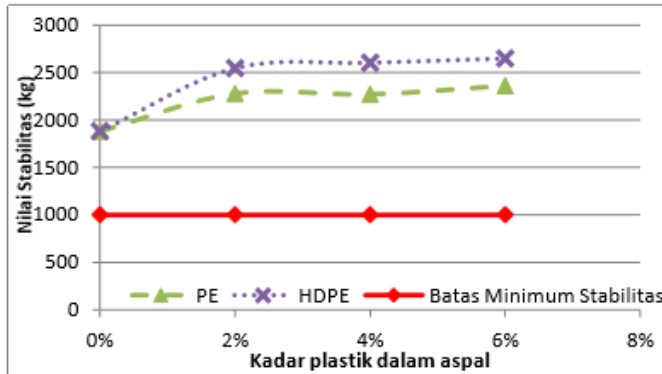
Sumber : Prameswari P.A, dkk (2016) Jurnal

Grafik di atas menunjukkan Nilai Stabilitas yang dihasilkan oleh masing-masing benda uji. Terjadi peningkatan nilai stabilitas pada benda uji yang diberi penambahan PET. Nilai stabilitas yang paling maksimum terdapat pada penambahan PET 2 %.

Setelah dilakukan analisa pada keenam parameter Marshall dan volumetrik campuran, diperoleh kadar penambahan PET yang memenuhi persyaratan karakteristik marshall adalah kadar 2%.

- b. Rahmawati A (2015) dalam jurnal yang berjudul Pengaruh Penggunaan Plastik Polyethylene (PE) dan High Density Polyethylene (HDPE) Pada Campuran Lataston-WC Terhadap Karakteristik Marshall. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sifat-sifat fisik plastik PE dan HDPE yang digunakan sebagai campuran aspal pada perkerasan jalan, mengevaluasi kinerja campuran lataston WC dengan aspal modifikasi plastik PE dan HDPE. Pencampuran PE dan HDPE dengan campuran

aspal dilakukan dengan cara basah. Kadar plastik yang digunakan yaitu 0%, 2%, 4% dan 6% dari berat aspal. Aspal yang digunakan merupakan aspal dengan penetrasi tinggi 80/100 murni.



Grafik 2.3 Grafik hubungan stabilitas campuran terhadap variasi kadar plastik

Sumber :Rahmawati A (2015) Jurnal

Dari grafik terlihat bahwa penambahan plastik PE dan HDPE pada campuran beraspal dapat meningkatkan nilai stabilitas campuran untuk campuran lataston. Campuran aspal dengan plastik PE mempunyai nilai stabilitas yang lebih rendah daripada nilai stabilitas pada campuran aspal dengan HDPE, hal ini disebabkan karena nilai penetrasi dari aspal dengan HDPE lebih rendah bila dibandingkan dengan nilai penetrasi aspal dengan PE.

Penggunaan PE dan HDPE pada jenis ini memberikan pengaruh pada campuran lataston terhadap berbagai karakteristik Marshall yakni untuk nilai stabilitas, kelelahan dan VFA yang cenderung mengalami peningkatan, sedangkan nilai Flow, VIM, VMA dan MQ yang cenderung mengalami penurunan. Pengaruh

campuran aspal-HDPE memberikan nilai atau hasil karakteristik Marshall yang lebih bagus dibandingkan campuran aspal-PE.

- c. Widodo A.D, dkk (2015) dalam jurnal yang berjudul Pengaruh Penambahan Limbah Botol Plastik Polyethylene Terephthalate (PET) Dalam Campuran Laston-WC Terhadap Parameter Marshall. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sifat-sifat botol plastik sebagai campuran aspal pada perkerasan jalan dan membandingkan kinerja aspal ini dengan aspal pada umumnya. Pencampuran PET dengan campuran aspal dilakukan dengan cara kering. Kadar plastik yang digunakan yaitu 0%, 2%, 4% dan 6% dari berat aspal. Aspal yang digunakan yaitu aspal Pertamina dengan penetrasi 60/70. Kadar aspal yang digunakan yaitu 5,5%; 6%; 6,5%; dan 7%. Pengaruh penambahan PET pada Laston Lapis Pengikat terhadap karakteristik Marshall dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.8 Hasil pengujian Marshall tanpa campuran plastik PET pada aspal

No	Karakteristik	Syarat	Kadar Plastik PET (%)			
			0 %	2%	4%	6%
1	VIM (%)	3-6	14,632	36,572	37,107	19,961
2	VMA (%)	> 18	0,130	0,038	0,038	0,089
3	Stabilitas (kg)	> 800	1595,011	2881,168	2714,256	2373,18
4	Flow (mm)	> 3	6,227	5,070	4,960	5,3225
5	MQ (kg/mm)	> 250	256,141	569,999	547,284	454,392

Sumber : Widodo A.D, dkk (2015) Jurnal

Setelah dilakukan pengujian untuk mendapatkan kadar aspal optimum, diperoleh kadar aspal optimum sebesar 6,25%. Nilai stabilitas tertinggi dicapai pada campuran menggunakan PET sebanyak 2 % pada kadar aspal optimum 6,25 %, yakni sebesar 2881,168 kg.

Berdasarkan Bina Marga, persyaratan untuk nilai stabilitas yaitu minimal 800 kg, sehingga campuran-campuran tersebut memenuhi syarat minimal untuk stabilitas.

Setelah dilakukan analisa pada seluruh parameter Marshall dan volumetrik campuran, diperoleh kadar penambahan PET yang memenuhi persyaratan karakteristik marshall adalah kadar 2%.

2.5. Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian yang akan dilakukan memiliki perbedaan dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Jenis perkerasan aspal yang akan digunakan yaitu Laston Lapis Aus (*Wearing Course*) dengan penambahan plastik jenis PET. Perbedaan terletak pada kadar plastik PET yang digunakan yaitu 0%; 2%; 4%; 6%; 8%; dan 10%. Selain itu, perbedaan juga terletak pada metode pencampuran yang dilakukan yaitu metode basah. Cara basah (*wet process*) yaitu suatu cara pencampuran dimana plastik dimasukkan ke dalam aspal panas dan diaduk dengan kecepatan tinggi sampai homogen. Untuk lebih jelasnya, perbedaan dengan penelitian terdahulu disajikan dalam tabel 2.9 berikut.

Tabel 2.9 Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu

Jurnal	Perbedaan	
	Penelitian Terdahulu	Penelitian Sekarang
Prameswari P.A, dkk (2016) “Pengaruh Pemanfaatan PET pada Laston Lapis Pengikat Terhadap Parameter	Lapisan perkerasan : Lapisan Aspal Beton lapis pengikat (AC-BC)	Lapisan perkerasan : Lapisan Tipis Aspal Beton lapis aus (HRS-WC)
	Menggunakan Cara Kering (<i>dry</i>)	Menggunakan Cara Basah (<i>wet process</i>)

Marshall”	<i>process</i>)	
Rahmawati A (2015) “Pengaruh Penggunaan Plastik Polyethylene (PE) dan High Density Polyethylene (HDPE) Pada Campuran Laston-WC Terhadap Karakteristik Marshall”	Aspal penetrasi tinggi 80/100	Aspal penetrasi 60/70
	Jenis plastik yang digunakan <i>Polyethylene</i> (PE) dan <i>High Density Polyethylene</i> (HDPE)	Jenis plastik yang digunakan <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET)
	Menggunakan Cara Kering (<i>dry process</i>)	Menggunakan Cara Basah (<i>wet process</i>)
Widodo A.D, dkk (2015) “Pengaruh Penambahan Limbah Botol Plastik Polyethylene Terephthalate (PET) Dalam Campuran Laston-WC Terhadap Parameter Marshall”	Lapisan perkerasan : Lapisan Aspal Beton lapis aus (Laston-WC)	Lapisan perkerasan : Lapisan Tipis Aspal Beton lapis aus (HRS-WC)
	Variasi kadar plastik sebesar 0%, 2%, 4% dan 6% dari berat aspal	Variasi kadar plastik sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% dari berat aspal
	Menggunakan Cara Kering (<i>dry process</i>)	Menggunakan Cara Basah (<i>wet process</i>)

Sumber :Dokumentasi

2.6. Tebal Perkerasan

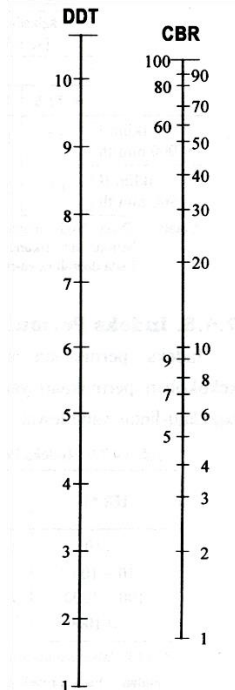
2.6.1. Parameter

Data yang dibutuhkan dalam perhitungan tebal perkerasan yaitu :

1. Daya Dukung Tanah (DDT) dan CBR

Harga CBR yang digunakan berupa CBR laboratorium atau CBR lapangan. Biasanya, CBR lapangan digunakan dalam perhitungan overlay, sedangkan CBR laboratorium digunakan dalam perhitungan perencanaan jalan baru.

Untuk DDT diperoleh dari menarik garis lurus pada grafik korelasi DDT dan CBR **Grafik 2.4**.



Grafik 2.4 Grafik korelasi DDT dan CBR

Sumber :SKBI-2.3.26.1987

2. Faktor Regional

Faktor Regional hanya dipengaruhi oleh bentuk alinyemen, persentase kendaraan berat, dan iklim dengan ketentuan sebagai berikut:

Tabel 2.10 Faktor Regional

Curah Hujan	Kelandaian I		Kelandaian II		Kelandaian III	
	(< 6 %)		(6 – 10 %)		(> 10 %)	
	% kendaraan berat		% kendaraan berat		% kendaraan berat	
	≤ 30 %	> 30 %	≤ 30 %	> 30 %	≤ 30 %	> 30 %
Iklim I	0,5	1,0–1,5	1,0	1,5–2,0	1,5	2,0–2,5
< 900 mm/th						
Iklim II	1,5	2,0–2,5	2,0	2,5–3,0	2,5	3,0–3,5
> 900 mm/th						

Sumber :SKBI-2.3.26.1987

Catatan : Pada bagian jalan-jalan tertentu seperti persimpangan, pemberhentian atau tikungan tajam ($R=30m$), FR ditambah 0,5. Pada daerah rawa-rawa, FR ditambah 1,0.

3. Indeks Permukaan (IP)

Indeks Permukaan (IP) menyatakan nilai kerataan / kehalusan serta kekokohan permukaan yang bertalian dengan tingkat pelayanan bagi lalu lintas yang lewat.

Indeks Permukaan dibagi menjadi 2 yaitu :

- a. IP_o = indeks permukaan pada awal usia rencana (Lihat **Tabel 2.11**). Faktor yang mempengaruhi yaitu jenis lapis permukaan yang direncanakan atau nilai roughness.

Tabel 2.11 Indeks Permukaan Awal (IP_o)

Jenis Lapis Perkerasan	IP_o	Roughness
		(mm/km)
LASTON	≥ 4	≤ 1000
	3,9 – 3,5	> 1000
LASBUTAG	3,9 – 3,5	≤ 2000
	3,4 – 3,0	> 2000
HRA	3,9 – 3,5	≤ 2000
	3,4 – 3,0	> 2000
BURDA	3,9 – 3,5	< 2000
BURTU	3,4 – 3,0	< 2000
LAPEN	3,4 – 3,0	≤ 3000
	2,9 – 2,5	> 3000
LATASBUM	2,9 – 2,5	–
BURAS	2,9 – 2,5	–
LATASIR	2,9 – 2,5	–
JALAN TANAH	$\leq 2,4$	–
JALAN KERIKIL	$\leq 2,4$	–

Sumber :SKBI-2.3.26.1987

- b. IP_t = indeks permukaan pada akhir umur rencana (Lihat **Tabel 2.12**). Faktor yang mempengaruhi yaitu Lintas Ekuivalen Rencana (LER) dan klasifikasi jalan.

Adapun beberapa nilai IP beserta artinya adalah seperti yang tersebut di bawah ini:

- $IP = 1,0$: adalah menyatakan permukaan jalan dalam keadaan rusak berat sehingga sangat mengganggu lalu lintas kendaraan.

- IP = 1,5: adalah tingkat pelayanan terendah yang masih mungkin (jalan tidak terputus).
- IP = 2,0: adalah tingkat pelayanan rendah bagi jalan yang masih mantap
- IP = 2,5: adalah menyatakan permukaan jalan yang masih cukup stabil dan baik.

Tabel 2.12 Indeks Permukaan Akhir (IP_t)

Lintas Ekuivalen Rencana *) (LER)	Klasifikasi Jalan			
	Lokal	Kolektor	Arteri	Tol
< 10	1,0 – 1,5	1,5	1,5 – 2,0	–
10 – 100	1,5	1,5 – 2,0	2,0	–
100 – 1000	1,5 – 2,0	2,0	2,0 – 2,5	–
> 1000	–	2,0 – 2,5	2,5	2,5

Sumber :SKBI-2.3.26.1987

Catatan :

- Pada proyek-proyek penunjang jalan, jalan murah atau jalan darurat maka IP dapat diambil sebesar 1,0.
- LER merupakan ekuivalen dari beban sumbu standar 8,16 ton.

4. Lintas Ekuivalen Rencana (LER)

a. Angka Ekuivalen (E) beban sumbu kendaraan

Angka Ekuivalen (E) masing-masing golongan beban sumbu kendaraan dapat dilihat pada **Tabel 2.13**.

Tabel 2.13 Angka Ekuivalen (E) beban sumbu kendaraan

Beban Sumbu		Angka Ekuivalen	
Kg	Lb	Sumbu tunggal	Sumbu ganda
1000	2205	0,0002	-
2000	4409	0,0036	0,0003
3000	6614	0,0183	0,0016
4000	8818	0,0577	0,0050
5000	11023	0,1410	0,0121
6000	13228	0,2923	0,0251
7000	15432	0,5415	0,0466
8000	17637	0,9238	0,0794
8160	18000	1,0000	0,0860
9000	19841	1,4798	0,1273
10000	22046	2,2555	0,1940
11000	24251	3,3022	0,2840
12000	26455	4,6770	0,4022
13000	28660	6,4419	0,5540
14000	30864	8,6647	0,7452
15000	33069	11,4184	0,9820
16000	35276	14,7815	1,2712

Sumber :SKBI-2.3.26.1987

b. Jumlah Jalur dan Koefisien Distribusi Kendaraan (C)

Jalur rencana merupakan salah satu jalur lalu lintas dari suatu ruas jalan raya, yang menampung lalu lintas terbesar. **Tabel 2.14** digunakan apabila jalan tidak memiliki tanda batas jalur.

Tabel 2.14 Jumlah Lajur berdasarkan lebar perkerasan

Lebar Perkerasan (L)	Jumlah Lajur (n)
$L < 5,50 \text{ m}$	1 jalur
$5,50 \text{ m} \leq L < 8,25 \text{ m}$	2 jalur
$8,25 \text{ m} \leq L < 11,25 \text{ m}$	3 jalur
$11,25 \text{ m} \leq L < 15,00 \text{ m}$	4 jalur
$15,00 \text{ m} \leq L < 18,75 \text{ m}$	5 jalur
$18,75 \text{ m} \leq L < 22,00 \text{ m}$	6 jalur

Sumber :SKBI-2.3.26.1987

Koefisien distribusi kendaraan (C) untuk kendaraan ringan dan berat yang lewat pada jalur rencana ditentukan menurut **Tabel 2.15**.

Tabel 2.15 Koefisien Distribusi Kendaraan (C)

Jumlah Lajur	Kendaraan Ringan*)		Kendaraan Berat**)	
	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah
1 jalur	1,00	1,00	1,00	1,000
2 jalur	0,60	0,50	0,70	0,500
3 jalur	0,40	0,40	0,50	0,475
4 jalur	-	0,30	-	0,450
5 jalur	-	0,25	-	0,425
6 jalur	-	0,20	-	0,400

Sumber :SKBI-2.3.26.1987

*) berat total < 5 ton, misalnya mobil penumpang, pick up, mobil hantaran.

**) berat total > 5 ton, misalnya, bus, truk, traktor, semi trailler, trailer.

c. Lalu lintas Harian Rata-rata (LHR)

Ditentukan pada awal umur rencana. Dihitung untuk dua arah pada jalan tanpa median ataupun masing-masing arah pada jalan dengan median.

d. Lintas Ekuivalen Permulaan (LEP)

Lintas Ekivalen Permulaan (LEP) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\mathbf{LEP = \Sigma LHR . E . C}$$

e. Lintas Ekivalen Akhir (LEA)

Lintas Ekivalen Akhir (LEA) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\mathbf{LEA = \Sigma LHR (1+i)^{UR} . C . E}$$

f. Lintas Ekivalen Tengah (LET)

Lintas Ekivalen Tengah (LET) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\mathbf{LET = 0.5 (LEP + LEA)}$$

g. Lintas Ekivalen Rencana (LER)

Lintas Ekivalen Rencana (LER) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\mathbf{LER = LET \times FP}$$

$$\mathbf{FP = UR / 10}$$

Dengan UR = Umur Rencana

2.6.2. Perhitungan Tebal Perkerasan

Perhitungan perencanaan ini didasarkan pada kekuatan relatif masing-masing lapisan perkerasan jangka panjang, dimana penentuan tebal perkerasan dinyatakan oleh ITP (Indeks Tebal Perkerasan), dengan rumus sebagai berikut :

$$\mathbf{ITP = a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3}$$

a_1, a_2, a_3 = Koefisien kekuatan relatif bahan perkerasan

(Lihat **Tabel 2.16**)

D_1, D_2, D_3 = Tebal masing-masing lapis perkerasan (cm)

(Lihat **Tabel 2.17**)

Angka 1, 2 dan 3 : masing-masing untuk lapis permukaan lapis pondasi dan lapis pondasi bawah.

Tabel 2.16 Koefisien Kekuatan Relatif (a)

Koefisien			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
a ₁	a ₂	a ₃	MS (kg)	Kt (kg/cm)	CBR (%)	
0,4	-	-	744	-	-	Laston
0,35	-	-	590	-	-	
0,32	-	-	454	-	-	
0,30	-	-	340	-	-	
0,35	-	-	744	-	-	
0,31	-	-	590	-	-	Lasbutag
0,28	-	-	454	-	-	
0,26	-	-	340	-	-	
0,30	-	-	340	-	-	
0,26	-	-	340	-	-	HRA
0,25	-	-	-	-	-	Aspal Macadam
0,20	-	-	-	-	-	Lapen (mekanis)
-	0,28	-	590	-	-	Lapen (manual)
-	0,26	-	454	-	-	Laston Atas
-	0,24	-	340	-	-	
-	0,23	-	-	-	-	
-	0,19	-	-	-	-	
-	0,15	-	-	-	-	Lapen (mekanis)
-	0,13	-	-	-	-	Lapen (manual)
-	0,15	-	-	22	-	Stab. Tanah dengan semen
-	0,13	-	-	18	-	
-	0,14	-	-	-	100	
-	0,13	-	-	-	80	
-	0,12	-	-	-	60	Batu Pecah (kelas A)
-	-	0,13	-	-	70	Batu Pecah (kelas B)
-	-	0,12	-	-	50	Batu Pecah (kelas C)
-	-	0,11	-	-	30	Sirtu/pitrun (kelas A)
-	-	0,10	-	-	20	Sirtu/pitrun (kelas B)
-	-	0,10	-	-	20	Sirtu/pitrun (kelas C)
-	-	0,10	-	-	20	Tanah/lempung kepasiran

Sumber :SKBI-2.3.26.1987

Tabel 2.17 Batas-batas Minimum Tebal Perkerasan

ITP	Tebal Minimum (cm)	Bahan
1. Lapis Permukaan		
< 3,00	5	Lapis pelindung : (Buras/Burtu/Burda)
3,00-6,70	5	Lapen/Aspal Macadam, HRA, Lasbutag, Laston
6,71-7,49	7,5	Lapen/Aspal Macadam, HRA, Lasbutag, Laston
7,50-9,99	7,5	Lasbutag, Laston
≥10,00	10	Laston
2. Lapis Podasi Atas		
< 3,00	15	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur
3,00-7,49	20*)	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur
7,50-9,99	10	Laston Atas
	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi Macadam
10-12,14	15	Laston Atas
	20	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi Macadam, Lapen, Laston Atas
≥ 12,25	25	Batu pecah, stabilitas tanah dengan semen, stabilitas tanah dengan kapur, pondasi Macadam, Lapen, Laston Atas
3. Lapis Podasi Bawah		
Untuk setiap nilai ITP bila digunakan pondasi bawah, tebal minimum adalah 10 cm		

Sumber :SKBI-2.3.26.1987

BAB III

METODOLOGI

3.1 Alur Penelitian

3.1.1 Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan untuk mengetahui gambaran hal-hal apa saja yang perlu dilakukan dan dipersiapkan agar penelitian lebih terarah. Literatur yang digunakan harus berkaitan dengan penelitian.

3.1.2 Penentuan Spesifikasi

Spesifikasi yang digunakan dalam penelitian mengacu pada Peraturan Menteri PU Bina Marga mengenai lapisan aspal dan Standart Nasional Indonesia.

3.1.3 Persiapan Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini diperlukan bahan-bahan dan peralatan yang dapat menunjang penelitian. Bahan-bahan yang digunakan meliputi :

a. Limbah botol plastik tipe 1 (PET)

Digunakan limbah botol plastik tipe 1 (PET) yang akan dicacah 0.5cmx0.5cm dengan mesin pencacah.

b. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan yaitu batu pecah atau kerikil dengan ketentuan seperti pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4. Agregat dengan ukuran terkecil yang tertahan di atas saringan no. 8 (2,38 mm) atau partikel yang lebih besar 4,75 mm menurut ASTM, lebih besar dari 2 mm menurut AASHTO.

c. Agregat halus

Untuk campuran Lataston Agregat digunakan agregat dengan ukuran terkecil yang tertahan di atas saringan no. 200 (0,074 mm). Agregat halus terdiri dari butir-butir pecahan

batu atau pasir alam maupun campuran kedua-duanya dengan ketentuan seperti pada Tabel 2.5 dan **Tabel 2.6**.

d. Aspal

Aspal yang digunakan yaitu aspal dengan penetrasi 60/70.

e. Filler

Filler yang digunakan yaitu material lolos saringan No. 200. Peneliti menggunakan semen sebagai filler.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

a. Satu set saringan (Sieve)

Digunakan untuk memisahkan agregat berdasarkan gradasi agregat.

b. Alat uji aspal

Digunakan untuk pemeriksaan aspal, antara lain :

- Alat uji penetrasi
- Alat uji kehilangan berat
- Aat uji daktilitas
- Alat uji berat jenis, meliputi : piknometer dan timbangan

c. Alat uji agregat

Digunakan untuk pemeriksaan agregat antara lain :

- Mesin Los Angeles (tes abrasi)
- Alat pengering
- Timbangan berat, meliputi : piknometer, timbangan, dan pemanas

d. Alat uji kareteristik *Marshall*

Alat uji yang digunakan yaitu seperangkat alat untuk metode *Marshall* antara lain :

- Alat tekan *Marshall* yaitu kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji kapasitas

(5000 lbs) yang telah dilengkapi arloji pengukur flow meter

- Alat cetak benda uji bentuk silindir, dengan dimensi diameter 4 inc dan tinggi 3 inc
- *Marshall automatic compactor*, untuk pemadatan campuran
- Ejektor, untuk mengeluarkan benda uji setelah pemadatan
- Bak perendam
- Alat penunjang meliputi wajan penggorengan, kompor pemanas, thermometer, sendok/pengaduk, sarung tangan, kain lap, timbangan, ember, jangka sorong atau penggaris, cat atau tipe-x untuk menandai benda uji

3.1.4 Uji Material

Uji material dilakukan untuk mengetahui apakah material yang digunakan memenuhi spesifikasi atau tidak. Jika material tidak memenuhi spesifikasi dapat dilakukan pergantian material dan diuji kembali. Uji material yang dilakukan meliputi:

1. Uji Aspal

Dilakukan beberapa pengujian untuk mengetahui apakah aspal yang digunakan memenuhi spesifikasi atau tidak sesuai SNI dan Bina Marga. Berikut adalah pengujian yang dilakukan :

- a. Uji Penetrasi
- b. Uji Titik Nyala
- c. Uji Titik Lembek
- d. Uji Daktilitas
- e. Uji Berat Jenis
- f. Uji Kehilangan Berat

Tabel 3.1 Spesifikasi pengujian aspal

No.	Pengujian	Metode	Syarat	
			Min	Max
1.	Penetrasi	SNI 06-2456-1991	60	79
2.	Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	48	58
3.	Titik Nyala	SNI 06-2434-1991	200	-
4.	Daktilitas	SNI 06-2434-1991	100	-
5.	Kehilangan Berat	SNI 06-2440-1991	-	0,8
6.	Berat Jenis	SNI 06-2432-1991	1	-

2. Uji Agregat dan *filler*

Agregat dan *filler* diperlukan sebagai bahan pengisi, meliputi agregat kasar dan agregat halus. Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah memenuhi spesifikasi atau tidak. Pengujian yang dilakukan yaitu :

- a. Analisa Saringan
- b. Berat Jenis dan Penyerapan

Berikut adalah spesifikasi untuk pengujian berat jenis agregat halus dan agregat kasar.

Tabel 3.2 Spesifikasi pengujian berat jenis agregat

No.	Pengujian	Metode	Batas
Agregat Kasar			
1.	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	$\leq 3\%$
2.	Berat Jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$
3.	Keausan	SNI 03-2417-1991	$\leq 40\%$
Agregat Halus			
1.	Penyerapan air	SNI 03-1970-1990	$\leq 3\%$
2.	Berat jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$

- c. Keausan Agregat
- d. Kelekatan Terhadap Aspal
- e. Penyerapan Terhadap Aspal

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

3.1.5 Job Mix Formula dan Combine Agregat

Pembuatan JMF (Job Mix Formula), meliputi penentuan proporsi dari beberapa fraksi agregat dengan aspal sedemikian rupa sehingga dapat memberikan kinerja perkerasan yang memenuhi syarat. Job mix formula atau job mix design (desain campuran) dalam bentuk sederhana terdiri dari 2 bagian. Bagian pertama adalah gradasi agregat. Gradasi agregat yang digunakan adalah gradasi senjang sesuai dengan ketentuan Lataston Lapis Aus. Bagian kedua adalah berapa jumlah kadar aspal yang akan digunakan dalam campuran untuk pembuatan Lataston Lapis Aus.

Dalam merencanakan campuran aspal, harus dilakukan perhitungan perkiraan awal kadar aspal optimum (Pb) sebagai berikut :

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\% FF) + \text{Konstanta}$$

Dimana ,

Pb : Kadar aspal tengah atau ideal

CA : Persen agregat tertahan saringan No.8

FA : Persen agregat lolos saringan No.8 dan tertahan saringan No.200

FF : (*filler*), Persen agregat minimal 75% lolos saringan No.200

K : Nilai konstanta

(untuk nilai konstanta digunakan 2,0 – 3,0 untuk Lataston)

3.1.6 Pembuatan Benda Uji Lataston Lapis Aus

Setelah didapat proporsi campuran, dilakukan pembuatan benda uji sesuai dengan perencanaan.. Berikut adalah langkah-langkah pembuatan benda uji :

- Menimbang agregat sesuai dengan berat persentase agregat campuran yang telah dihitung, kemudian benda uji dibuat sebanyak yang dibutuhkan dengan masing-masing kadar aspal.
- Memanaskan aspal menggunakan kompor pemanas, agar temperatur tetap terjaga (konstan).
- Mencampurkan aspal dengan agregat yang telah di siapkan sebelumnya.
- Kemudian melakukan pemadatan standar dengan alat *Marshall Automatic Compactor* dengan jumlah tumbukan 50 kali.
- Benda uji didiamkan supaya suhunya turun, setelah itu benda uji dikeluarkan dengan ejektor dan diberi kode dengan menggunakan tipe-ex atau penanda lain.
- Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel kemudian ditimbang beratnya untuk mendapatkan berat benda uji kering.
- Benda uji direndam dalam air selama 16 – 24 jam supaya jenuh.
- Ditimbang dalam air untuk mendapatkan berat benda uji dalam air.
- Kemudian benda uji dikeluarkan 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.

3.1.7 Uji Marshall

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) dan kelelahan (flow) dari campuran aspal sesuai dengan SNI 06-2489-1991.

Berikut langkah-langkah pengujian dengan alat Marshall :

- Bagian dalam permukaan kepala penekan dibersihkan dan dilumasi agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian.
- Benda uji dikeluarkan dari bak perendam, letakkan benda uji tepat di tengah pada bagian bawah kepala penekan kemudian letakkan bagian atas kepala penekan dengan memasukkan lewat batang penuntun, kemudian letakkan pemasangan yang sudah lengkap tersebut tepat di tengah alat pembebanan, arloji kelelahan (flow meter) dipasang pada dudukan diatas salah satu batang penuntun.
- Kepala penekan dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji, kemudian diatur kedudukan jarum arloji penekan dan arloji kelelahan pada angka nol.
- Pembebanan dilakukan dengan kecepatan tetap (2 inch.) per menit, dibaca pada saat arloji pembebanan berhenti dan mulai kembali berputar menurun, pada saat itu pula dibaca arloji kelelahan. Titik pembacaan pada saat arloji pembebanan berhenti dan mulai kembali menurun, itu merupakan nilai stabilitas *Marshall*.

3.1.8 Pembuatan Benda Uji Pencampuran Lataston Lapis Aus dengan PET

Ada dua teknik pencampuran plastik dalam campuran beraspal, yaitu : cara basah dan cara kering. Cara basah (*wet process*) yaitu suatu cara pencampuran dimana plastik dimasukkan ke dalam aspal panas dan diaduk dengan kecepatan tinggi sampai homogen. Cara kering (*dry process*), yaitu suatu

cara dimana plastik dimasukkan ke dalam agregat yang dipanaskan pada temperatur campuran, kemudian aspal panas ditambahkan. Kami menggunakan metode pertama dalam penelitian ini yakni cara basah (*wet process*).

Setelah didapat benda uji dengan kadar aspal optimum, dilakukan pembuatan benda uji campuran antara Lataston Lapis Aus dengan PET. Berikut adalah langkah-langkah pembuatan benda uji :

- Menimbang agregat sesuai dengan berat persentase agregat campuran benda uji dengan kadar aspal optimum
- Memanaskan aspal menggunakan kompor pemanas, agar temperatur tetap terjaga (konstan).
- Kemudian mencampurkan aspal dan plastik yang sudah dicacah dengan ukuran 50 mm x 50 mm yang telah dipanaskan sebelumnya. Suhu pencampuran agregat dengan aspal pada suhu 155⁰C dan pemadatan suhu nya berkisar antara 145⁰C.
- Mencampurkan aspal plastik dengan agregat yang telah di siapkan sebelumnya.
- Kemudian melakukan pemadatan standar dengan alat *Marshall Automatic Compactor* dengan jumlah tumbukan 75 kali.
- Benda uji didiamkan supaya suhunya turun, setelah itu benda uji dikeluarkan dengan ejektor dan diberi kode dengan menggunakan tipe-ex atau penanda lain.
- Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel kemudian ditimbang beratnya untuk mendapatkan berat benda uji kering.
- Benda uji direndam dalam air selama 16 – 24 jam supaya jenuh.

- Ditimbang dalam air untuk mendapatkan berat benda uji dalam air.
- Kemudian benda uji dikeluarkan 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.

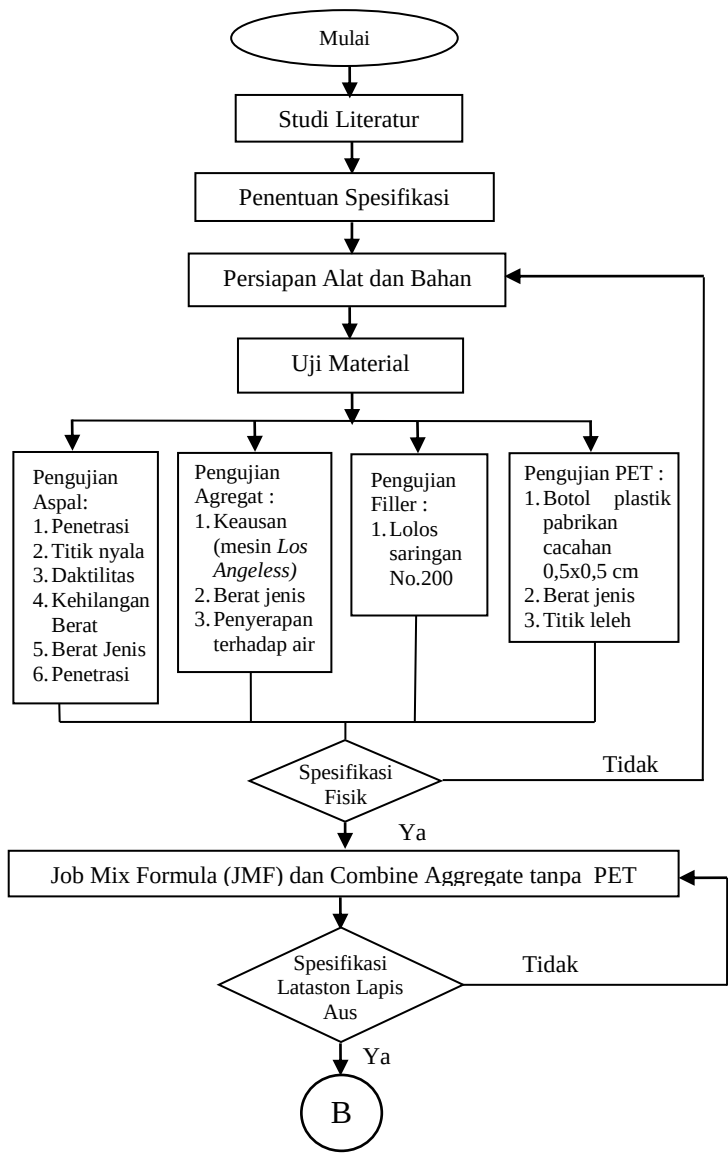
3.1.9 Analisis Data dan Pembahasan

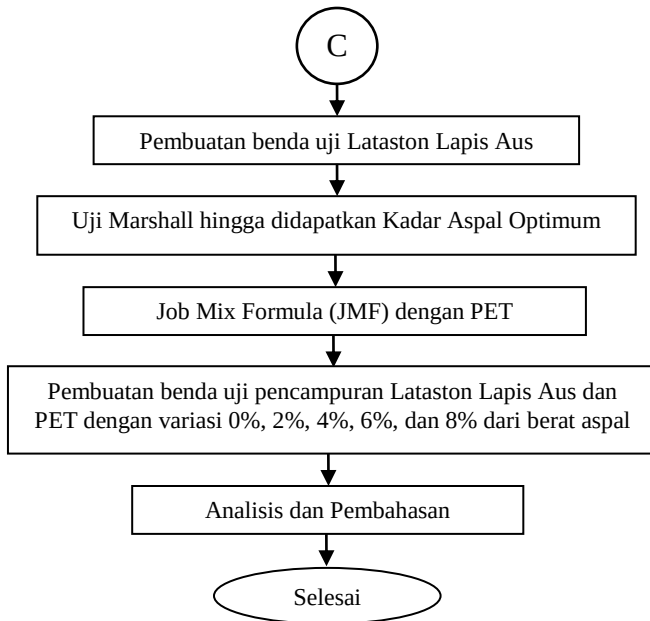
Setelah pengujian Marshall selesai serta nilai stabilitas dan flow didapat, selanjutnya menghitung parameter Marshall yaitu VIM, VMA, dan parameter lainnya sesuai parameter yang ada pada spesifikasi campuran. Hasil pengolahan akan diuraikan dalam bentuk grafik hubungan antara kadar aspal dan parameter Marshall, yaitu gambar grafik hubungan antara:

- Kadar aspal terhadap kepadatan
- Kadar aspal terhadap VMA
- Kadar aspal terhadap VFA
- Kadar aspal terhadap stabilitas
- Kadar aspal terhadap *flow*
- Kadar aspal terhadap *Marshall Quotient* (MQ)

3.1.10 Penarikan 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 penambahan limbah plastic PET pada campuran Lataston Lapis Aus secara keseluruhan. Saran yang diberikan didapat dari evaluasi atau kekurangan dari penelitian yang dilakukan sehingga dapat menjadi bahan perbaikan pada penelitian selanjutnya.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

“HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN”

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Material

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Uji Material Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pengujian material yang dilakukan dalam penelitian ini mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dan *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), pengujian material yang diujikan meliputi : Sifat agregat (kasar, medium, & halus), dan pemeriksaan sifat fisik aspal pen. 60/70. Material agregat yang digunakan berasal dari wilayah Mojokerto. Sedangkan material aspal penetrasi 60/70 yang digunakan berasal dari PT BUMINDO Mojokerto.

4.1.1 Analisa Saringan

Analisa saringan dilakukan untuk mengetahui dan memahami gradasi agregat. Dalam penelitian ini digunakan agregat kasar ukuran 10-20 mm dan 10-10 mm, pasir, agregat halus ukuran 0-5 mm, dan filler. Analisa saringan agregat adalah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan dan akan digunakan dalam merancang proporsi campuran. Gradasi agregat yang digunakan untuk HRS-WC adalah gradasi senjang.

Dalam pengujian ini digunakan sebanyak 1500 gram agregat halus 0-5 mm, pasir, dan filler serta 2500 gram agregat kasar yang telah dikeringkan terlebih dahulu. Agregat tersebut akan diayak pada susunan saringan $\frac{3}{4}$ " sampai no. 200 selama 15 menit. Kemudian menimbang setiap agregat yang tertahan pada masing-masing saringan. Hasil pengujian analisa saringan dapat dilihat pada **Tabel 4.1** sampai **Tabel 4.4**.

Tabel 4.1 Analisa saringan agregat kasar (10-20 mm)

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)		Rata-rata Berat Tertahan (gram)	Jml. Berat Tertahan (gram)	Jml. Tertahan (%)	Jml. Lolos (%)
1"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	412	356	384	384	15.36	84.64
1/2"	1194	1256	1225	1609	64.36	35.64
3/8"	706	654	680	2289	91.56	8.44
No. 4	166	200	183	2472	98.88	1.12
No. 8	-	-	-	-	-	-
No. 16	-	-	-	-	-	-
No. 30	-	-	-	-	-	-
No. 50	-	-	-	-	-	-
No. 100	-	-	-	-	-	-
No. 200	-	-	-	-	-	-
Berat sampel :			2500 gram			

Sumber : Perhitungan

Pada analisa saringan agregat kasar (10-20 mm), contoh perhitungan sebagai berikut :

Berat tertahan : Jumlah berat agregat yang tertahan pada saringan (gram)

Rata-rata berat tertahan : Rata-rata berat tertahan per saringan (gram)

Jumlah berat tertahan : Penjumlahan hasil pada kolom rata-rata berat tertahan
 $0,0 + 384 = 384 \text{ gr}$
 $384 + 1225 = 1609 \text{ gr}$
 $1609 + 680 = 2289 \text{ gr}$
 $2289 + 183 = 2472 \text{ gr}$

Jumlah % tertahan : $\frac{\text{Jumlah berat tertahan}}{\text{Berat sample total}} \times 100\%$

$$\frac{384}{2500} \times 100\% = 15.36\%$$

$$\frac{1609}{2500} \times 100\% = 64.36\%$$

$$\frac{2289}{2500} \times 100\% = 91.56\%$$

$$\frac{2472}{2500} \times 100\% = 98.88\%$$

Jumlah % lolos : 100% - 15.36% = 84.64%
 100% - 64.36% = 35.64%
 100% - 91.56% = 8.44%
 100% - 98.88% = 1.12%

Tabel 4.2 Analisa saringan agregat medium (10-10 mm)

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)		Rata-rata Berat Tertahan (gram)	Jml. Berat Tertahan (gram)	Jml. Tertahan (%)	Jml. Lolos (%)
1"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	84	79.5	81.8	81.8	3.27	96.73
3/8"	856	1099	977.5	1059.3	42.37	57.63
No. 4	1414	1188	1301	2360.3	94.41	5.59
No. 8	142	112.5	127.3	2487.5	99.50	0.5
No. 16	-	-	-	-	-	-
No. 30	-	-	-	-	-	-
No. 50	-	-	-	-	-	-
No. 100	-	-	-	-	-	-
No. 200	-	-	-	-	-	-
Berat sampel :			2500 gram			

Sumber :Perhitungan

Tabel 4.3 Analisa saringan pasir

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)		Rata-rata Berat Tertahan (gram)	Jml. Berat Tertahan (gram)	Jml. Tertahan (%)	Jml. Lolos (%)
1"	0.0		0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	0.0		0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	40.5		40.5	40.5	2.70	97.30
3/8"	9.0		9.0	49.5	3.30	96.70
No. 4	41.5		41.5	91.0	6.07	93.93
No. 8	102		102	193.0	12.87	87.13
No. 16	247.5		247.5	440.5	29.37	70.63
No. 30	241		241	681.5	45.43	54.57
No. 50	368		368	1049.5	69.97	30.03
No. 100	219		219	1268.5	84.57	15.43
No. 200	107.5		107.5	1376	91.73	8.27
Berat sampel :			1500 gram			

Sumber :Perhitungan**Tabel 4.4** Analisa saringan agregat halus (0-5 mm)

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)		Rata-rata Berat Tertahan (gram)	Jml. Berat Tertahan (gram)	Jml. Tertahan (%)	Jml. Lolos (%)
1"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
No. 4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
No. 8	241	236	238.5	239.5	15.90	84.10
No. 16	387	378.5	382.8	621.3	41.42	58.58
No. 30	246.5	243.5	245	866.3	57.75	42.25
No. 50	219.5	219.5	219.5	1085.8	72.38	27.62
No. 100	148.5	164.5	156.5	1242.3	82.82	17.18
No. 200	78.5	78	78.3	1320.5	88.03	11.97
Berat sampel :			1500 gram			

Sumber :Perhitungan

4.1.2 Berat Jenis dan Penyerapan

Berat jenis adalah perbandingan antara agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C. Dalam pengujian ini, dibutuhkan sampel agregat kasar sebanyak 2000 gram dan 500 gram agregat halus. Agregat halus yang digunakan harus dalam keadaan kering permukaan (SSD) dan dapat diketahui dengan pengujian beberapa kali pada kerucut yang diisi secara bertahap sebanyak 3 layer. Setiap layer ditumbuk sebanyak 25 kali dan kondisi tersebut tercapai apabila benda uji runtuh sebanyak 1/3 tinggi kerucut. Setelah itu, agregat dimasukkan ke dalam piknometer dan diisi air, lalu ditimbang. Kemudian agregat dikeringkan dalam oven dan ditimbang kembali.

Untuk agregat kasar yang telah ditimbang sebanyak 2000 gram, direndam dalam air selama minimal 4 x 24 jam. Setelah itu menimbang agregat dalam keadaan kering permukaan (SSD) dengan cara mengeluarkan agregat dari dalam air dan di lap hingga permukaan agregat kering terlebih dahulu. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan masing-masing fraksi agregat dapat dilihat pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5 Hasil uji berat jenis dan penyerapan agregat

No.	Pengujian	Metode	Batas	Hasil	Ket.
Agregat kasar (10-20mm)					
1.	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	$\leq 3\%$	0,625%	Memenuhi
	Berat Jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,79%	Memenuhi
	Keausan	SNI 03-2417-1991	$\leq 40\%$	20,28%	Memenuhi
2.	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	$\leq 3\%$	1,69%	Memenuhi
	Berat Jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,75%	Memenuhi
	Keausan	SNI 03-2417-1991	$\leq 40\%$	20,28%	Memenuhi
Agregat Medium (10-10mm)					
1.	Penyerapan air	SNI 03-1970-1990	$\leq 3\%$	0,175%	Memenuhi
	Berat jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,82%	Memenuhi
2.	Penyerapan air	SNI 03-1970-1990	$\leq 3\%$	1,45%	Memenuhi
	Berat jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,75%	Memenuhi
Pasir					
1.	Penyerapan air	SNI 03-1970-1990	$\leq 3\%$	1,65%	Memenuhi

	Berat jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,57%	Memenuhi
2.	Penyerapan air	SNI 03-1970-1990	$\leq 3\%$	1,21%	Memenuhi
	Berat jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,68%	Memenuhi
Agregat Halus (0-5mm)					
1.	Penyerapan air	SNI 03-1970-1990	$\leq 3\%$	1,83%	Memenuhi
	Berat jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,72%	Memenuhi
2.	Penyerapan air	SNI 03-1970-1990	$\leq 3\%$	0,91%	Memenuhi
	Berat jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,8%	Memenuhi
Filler (Semen Portland)					
1.	Berat jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,55%	Memenuhi

Sumber :Perhitungan

Pada pengujian agregat kasar (10 - 20 mm) I, contoh perhitungan sebagai berikut :

Berat benda uji kering permukaan jenuh : 2012,5 gram

Berat benda uji dalam air : 1291 gram

$$\text{Berat Jenis SSD} : \frac{2012,5}{2012,5-1291} = 2,79 \%$$

$$\text{Penyerapan air} : \frac{2012,5-2000}{2000} \times 100\% = 0,625\%$$

Pada pengujian agregat halus (0 - 5 mm) I, contoh perhitungan sebagai berikut :

Berat SSD	: 500 gram
Berat piknometer + air	: 654 gram
Berat piknometer + air + benda uji	: 971 gram
Benda uji kering	: 491 gram

$$\text{Berat Jenis SSD} : \frac{500}{(654+500)-971} = 2,72\%$$

$$\text{Penyerapan air} : \frac{500-491}{491} \times 100\% = 1,83\%$$

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.5, dapat disimpulkan bahwa semua fraksi agregat yang digunakan memenuhi standar yang telah ditentukan pada SNI 03-1970-1990.

4.1.3 Hasil Pengujian Aspal

Material aspal yang digunakan untuk campuran pada penelitian ini yaitu aspal pertamina pen. 60/70. Dilakukan 6 macam tes untuk pengujian ini yaitu penetrasi, titik lembek, titik nyala, daktilitas, kehilangan berat, dan berat jenis aspal. Hasil pengujian aspal dapat dilihat pada **Tabel 4.6**.

Tabel 4.6 Hasil pengujian karakteristik aspal

No.	Pengujian	Metode	Syarat		Hasil
			Min	Max	
1.	Penetrasi	SNI 06-2456-1991	60	79	72,3
2.	Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	48	58	51,5
3.	Titik Nyala	SNI 06-2434-1991	200	-	244
4.	Daktilitas	SNI 06-2434-1991	100	-	165
5.	Kehilangan Berat	SNI 06-2440-1991	-	0,8	0,188
6.	Berat Jenis	SNI 06-2432-1991	1	-	1,036

Sumber : SNI 06-2432-1991

Untuk pengujian berat jenis aspal, picnometer ditimbang terlebih dahulu kemudian diisi air hingga penuh dan ditimbang kembali. Aspal yang telah dipanaskan dimasukkan ke dalam picnometer kosong hingga batas 40 ml lalu ditimbang. Setelah dingin, diisi air hingga penuh dan ditimbang kembali. Berikut adalah contoh perhitungan untuk pengujian berat jenis.

Berat Picnometer	(a) : 80,177 gram
Berat Picnometer + air	(b) : 228,532 gram
Berat Picnometer + aspal	(c) : 119,552 gram
Berat Picnometer + aspal + air	(d) : 229,890 gram

$$\text{Berat Jenis} = \frac{(c) - (a)}{[(b) - (a)] - [(d) - (c)]}$$

$$\text{Berat Jenis} = 1,036$$

4.2 Hasil Perencanaan Proporsi Agregat Campuran

4.2.1 Combined Aggregate

Proses penggabungan gradasi agregat (*combined aggregate*), meliputi agregat kasar 10-20 mm, agregat kasar 10-10 mm, pasir, agregat halus, dan *filler*. Berikut cara dan tahapan penggabungan gradasi dengan cara analitis

$$P = a.A + b.B + c.C + d.D + e.E$$

dimana ,

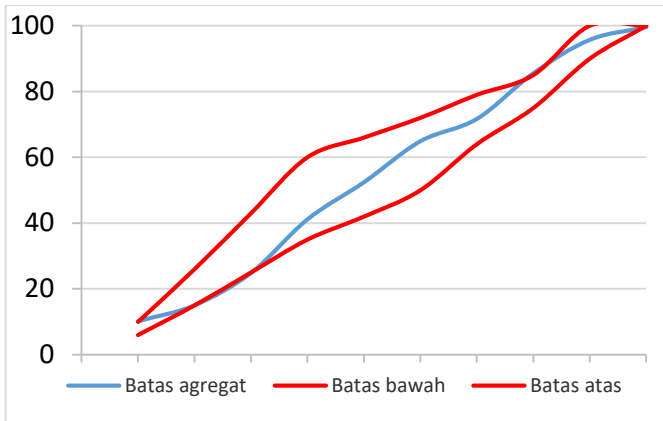
- P = Persen lolos saringan dengan ukuran (mm) yang diinginkan
- A = Persen lolos saringan fraksi agregat kasar 10-20 mm
- B = Persen lolos saringan fraksi agregat medium 10-10 mm
- C = Persen lolos saringan fraksi agregat pasir
- D = Persen lolos saringan fraksi agregat halus ukuran 0-5 mm
- E = Persen lolos saringan fraksi agregat *filler*

Untuk prosentase nilai a , b , c , dan d diperoleh dari perhitungan grafis sesuai dengan spesifikasi yang diatur pada peraturan Bina Marga 2010 mengenai batas agregat campuran HRS WC. Hasil persentase penggabungan agregat (*combined aggregate*) dapat dilihat dalam **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7 Hasil persentase *Combined Aggregate*

No Saringan	CA 10 - 20 mm		CA 10 - 10 mm		Pasir		FA 0-5 mm		Filler		HASIL	SPESIFIKASI HRS WC
	% Lolos	3	% Lolos	23	% Lolos	61	% Lolos	9	% Lolos	4		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
3/4"	84.64	2.54	100.00	23.00	100.00	61.00	100.00	9.00	100	4	100	100
1/2"	35.64	1.07	96.73	22.25	97.30	59.35	100.00	9.00	100	4	96	90-100
3/8"	8.44	0.25	57.63	13.25	96.70	58.99	100.00	9.00	100	4	85	75-85
No.4	1.12	0.03	5.59	1.29	93.93	57.30	100.00	9.00	100	4	72	64-79
No.8	0	0	0.50	0.12	87.13	53.15	84.10	7.57	100	4	65	50-72
No.16	0	0	0	0	70.63	43.09	58.58	5.27	100	4	52	42-66
No.30	0	0	0	0	54.57	33.29	42.25	3.80	100	4	41	35-60
No.50	0	0	0	0	30.03	18.32	27.62	2.49	100	4	25	25-43
No.100	0	0	0	0	15.43	9.41	17.18	1.55	100	4	15	15-26
No.200	0	0	0	0	8.27	5.04	11.97	1.08	100	4	10	6-10

Sumber :Perhitungan



Gambar 4.1 Grafik Combined Aggregate
Sumber :Perhitungan

Contoh perhitungan untuk *combined agregate* sebagai berikut :

$$\text{CA 10-20 mm (3)} : \frac{\text{Jumlah \% lolos (2)}}{100 \%} \times \% \text{ kadar agregat}$$

Untuk *jumlah % lolos* diambil pada perhitungan *combined agregate*

$$\frac{84,64}{100} \times 3\% = 2,54\%$$

$$\frac{35,64}{100} \times 3\% = 1,07\%$$

$$\frac{8,44}{100} \times 3\% = 0,25\%$$

$$\frac{1,12}{100} \times 3\% = 0,03\%$$

$$\text{Hasil (12)} = (3) + (5) + (7) + (9) + (11)$$

Begitu juga pola perhitungan pada agregat kasar 10-10 mm, pasir, agregat halus, dan *filler*. Berdasarkan perhitungan *combined aggregate* sesuai pada **Tabel 4.6** dan **Gambar 4.1** menunjukkan bahwa secara keseluruhan batasan saringan terletak di dalam spesifikasi *HRS-WC*(13), dengan prosentase 3% untuk agregat kasar 10-20 mm, 23% untuk agregat kasar 10-10 mm, 61% pasir, 9% agregat halus, dan 4% *Filler*.

4.3 Perencanaan Pembuatan Benda Uji

Pada penelitian ini, dibuat 5 variasi kadar aspal dengan masing-masing 3 benda uji. Variasi kadar aspal diperoleh dengan menghitung kadar aspal rencana (P_b) dan membuat variasi dengan interval 0,5. Setiap benda uji secara umum memiliki berat 1200 gram dengan proporsi campuran 5 fraksi agregat. Suhu pencampuran agregat dengan aspal yaitu 155°C dan suhu pemadatan 145°C . Untuk *HRS-WC* dengan lalu lintas ringan-sedang, dilakukan 50 tumbukan.

4.3.1 Penentuan Kadar Aspal Rencana

Menghitung perkiraan awal kadar aspal optimum (P_b) telah diatur pada peraturan Bina Marga 2010 sebagai berikut :

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + \text{Konstanta}$$

Dengan pengertian:

P_b = kadar aspal rencana awal

CA = agregat kasar

FA = agregat halus

FF = bahan pengisi (bila perlu)

Konstanta dengan nilai antara 2,0 –3,0 untuk campuran Lataston.

a. Fraksi desain butiran agregat

Penentuan fraksi butiran agregat ditentukan sebagai rencana akan kebutuhan agregat yang digunakan, meliputi agregat kasar, agregat sedang, dan agregat halus. Berikut penjelasan perhitungan mengenai fraksi desain butiran agregat

1. Variasi komposisi gradasi agregat gabungan (no. 8)

$$CA = \sum \left(\% \text{ lolos ayakan no. 8} \times \frac{\% CA}{100} \right)$$

dimana ,

% CA = prosentase agregat yang telah ditentukan sesuai perhitungan *combined agregat*

$$\text{Sedang} = \left(\% \text{ lolos ayakan no. 8} \times \frac{\% CA}{100} \right)$$

$$= 0,50 \times \frac{23}{100}$$

$$= 0,12$$

$$\text{Pasir} = \left(\% \text{ lolos ayakan no. 8} \times \frac{\% CA}{100} \right)$$

$$= 87,13 \times \frac{61}{100}$$

$$= 53,15$$

$$\text{Halus} = \left(\% \text{ lolos ayakan no. 8} \times \frac{\% CA}{100} \right)$$

$$= 84,10 \times \frac{9}{100}$$

$$= 7,57$$

$$\text{Filler} = \left(\% \text{ lolos ayakan no. 8} \times \frac{\% CA}{100} \right)$$

$$= 100 \times \frac{4}{100}$$

$$= 4,00$$

$$CA = (0,12 + 53,15 + 7,57 + 4,00)$$

$$= 64,84 \%$$

2. Variasi komposisi gradasi agr. gabungan (no. 200)

$$FA = \sum \left(\% \text{ lolos ayakan no. 200} \times \frac{\% FA}{100} \right)$$

$$\text{Pasir} = \left(\% \text{ lolos ayakan no. 200} \times \frac{\% FA}{100} \right)$$

$$= 8,27 \times \frac{61}{100}$$

$$= 5,04$$

$$\text{Halus} = \left(\% \text{ lolos ayakan no. 200} \times \frac{\% FA}{100} \right)$$

$$= 11,97 \times \frac{9}{100}$$

$$= 1,08$$

$$\text{Filler} = \left(\% \text{ lolos ayakan no. 200} \times \frac{\% FA}{100} \right)$$

$$= 100 \times \frac{4}{100}$$

$$= 4,00$$

$$FA = (5,04 + 1,08 + 4,00)$$

$$= 10,12 \%$$

Nilai fraksi butiran didapat :

$$\text{Kasar} = 100 - 64,84 \%$$

$$= 35,16 \%$$

$$\text{Sedang} = 64,84 - 10,12 \%$$

$$= 54,72 \%$$

$$\text{Halus} = 10,12 \%$$

$$\text{Total} = 35,16\% + 54,72\% + 10,12\% = 100\%$$

Perkiraan aspal terpakai secara gradasi :

$$\begin{aligned} \text{Pb} &= 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + \text{Konstanta} \\ &= (0,035 \times 35,16) + (0,045 \times 54,72) + (0,18 \times 10,12) + 2 \\ &= 7,5 \% \end{aligned}$$

b. Fraksi desain butiran campuran

Penentuan fraksi butiran campuran ditentukan sebagai rencana akan kebutuhan campuran agregat yang digunakan. Berikut penjelasan perhitungan mengenai fraksi desain butiran agregat.

Nilai fraksi butiran didapat :

$$\begin{aligned}\text{Kasar} &= 35,16 \times \left(\frac{100-7,5}{100} \right) \% \\ &= 32,52 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Sedang} &= 54,72 \times \left(\frac{100-7,5}{100} \right) \% \\ &= 50,60 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Halus} &= 10,12 \times \left(\frac{100-7,5}{100} \right) \% \\ &= 9,36 \%\end{aligned}$$

$$\text{Total} = 32,52\% + 50,60\% + 9,36\% = 92,49 \%$$

Maka nilai fraksi desain butiran campuran didapat sebesar

$$\text{Total} = 92,49\% + 7,5\% = 100\%$$

c. Perkiraan awal penyerapan aspal

Untuk menentukan nilai awal penyerapan aspal, dilakukan perhitungan nilai penyerapan air untuk setiap jenis agregat sebagai berikut :

$$\text{CA 10 – 20 mm} = 0,03 \times 0,45 = 0,01$$

$$\text{CA 10- 10 mm} = 0,23 \times 0,81 = 0,19$$

$$\text{FA 0 – 5 mm} = 0,09 \times 1,37 = 0,12$$

$$\text{Total} = 0,32$$

Maka, nilai penyerapan aspal didapat sebesar :

$$\text{Penyerapan Aspal} = \text{kons} \times 0,32$$

$$= 0,45 \times 0,32$$

$$= 0,15$$

$$\text{Kadar aspal} = 7,5 + 0,15 = 7,66 \%$$

Maka,, digunakan kadar aspal sebesar 7,7%.

4.3.2 Variasi Nilai Kadar Aspal

Setelah didapatkan nilai kadar aspal rencana, dibuat beberapa macam variasi dengan interval 0,5. Untuk pembuatan benda uji digunakan variasi kadar aspal 6,7; 7,2; 7,7; 8,2; dan 8,7. Sebelum dilakukan pembuatan benda uji, terlebih dahulu dilakukan perhitungan untuk menentukan proporsi masing-masing fraksi agregat dengan berat total 1200 gram tiap benda uji. Hasil perhitungan proporsi campuran bahan tiap variasi,dapat dilihat pada **Tabel 4.8**sampai **Tabel 4.12**.

Tabel 4.8 Proporsi campuran kadar aspal 6,7%

Kadar Aspal	:	6,7	%
Berat Sampel	:	1200	gr
Berat Kadar Aspal	:	80,4	gr
Berat Filler	4% :	44,784	gr
Berat Agr. Halus	9% :	100,764	gr
Berat Agr. Pasir	61% :	682,956	gr
Berat Agr. 10-10	23% :	257,508	gr
Berat Agr. 10-20	3% :	33,588	gr

Sumber :Perhitungan

$$\begin{aligned} \text{Berat kadar aspal} &: \frac{\%KAO}{100\%} \times \text{berat sample} \\ &\frac{6,70}{100} \times 1200 = 80,40 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat filler} &: 1200 - 80,40 = 1119,60 \text{ gr} \\ &\frac{4}{100\%} \times 1119,60 = 44,784 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Agr. Halus} &: \frac{9}{100\%} \times 1119,60 = 100,764 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\text{Berat Agr. Pasir} : \frac{61}{100\%} \times 1119,60 = 682,956 \text{ gr}$$

$$\text{Berat Agr. 10-10} : \frac{23}{100\%} \times 1119,60 = 257,508 \text{ gr}$$

$$\text{Berat Agr. 10-20} : \frac{3}{100\%} \times 1119,60 = 33,588 \text{ gr}$$

Tabel 4.9 Proporsi campuran kadar aspal 7,2%

Kadar Aspal	:	7,2	%
Berat Sampel	:	1200	gr
Berat Kadar Aspal	:	86,4	gr
Berat Filler	4% :	44,544	gr
Berat Agr. Halus	9% :	100,224	gr
Berat Agr. Pasir	61% :	679,296	gr
Berat Agr. 10-10	23% :	256,128	gr
Berat Agr. 10-20	3% :	33,408	gr

Sumber :Perhitungan

Tabel 4.10 Proporsi campuran kadar aspal 7,7%

Kadar Aspal	:	7,7	%
Berat Sampel	:	1200	gr
Berat Kadar Aspal	:	92,4	gr
Berat Filler	4% :	44,304	gr
Berat Agr. Halus	9% :	99,684	gr
Berat Agr. Pasir	61% :	675,636	gr
Berat Agr. 10-10	23% :	254,748	gr
Berat Agr. 10-20	3% :	33,228	gr

Sumber :Perhitungan

Tabel 4.11 Proporsi campuran kadar aspal 8,2%

Kadar Aspal	:	8,2	%
Berat Sampel	:	1200	gr
Berat Kadar Aspal	:	98,4	gr
Berat Filler	4% :	44,064	gr
Berat Agr. Halus	9% :	99,144	gr
Berat Agr. Pasir	61% :	671,976	gr
Berat Agr. 10-10	23% :	253,368	gr
Berat Agr. 10-20	3% :	33,048	gr

Sumber :Perhitungan

Tabel 4.12 Proporsi campuran kadar aspal 8,7%

Kadar Aspal	:	8,7	%
Berat Sampel	:	1200	gr
Berat Kadar Aspal	:	104,4	gr
Berat Filler	4% :	43,824	gr
Berat Agr. Halus	9% :	98,604	gr
Berat Agr. Pasir	61% :	668,316	gr
Berat Agr. 10-10	23% :	251,988	gr
Berat Agr. 10-20	3% :	32,868	gr

Sumber :Perhitungan

Setelah dilakukan perhitungan proporsi agregat untuk masing-masing variasi, dilanjutkan dengan pembuatan benda uji sebanyak 3 benda uji pada masing-masing variasi sesuai dengan prosedur yang telah dijelaskan pada BAB 3.

4.4 Pengujian Marshall Kadar Aspal Rencana

Untuk memperoleh kadar aspal optimum, terlebih dahulu dilakukan pengujian Marshall menggunakan satu set alat uji Marshall yang telah dijelaskan pada 3.1.3. Pengujian dilakukan pada masing-masing benda uji sehingga nantinya akan didapatkan

benda uji yang memenuhi spesifikasi pada seluruh parameter Marshall.

4.4.1 Kepadatan (*Density*)

Kepadatan (*density*) adalah tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan. Untuk memperoleh nilai kepadatan, terlebih dahulu dilakukan penimbangan berat benda uji pada 3 kondisi yaitu keadaan kering, jenuh (SSD), dan berat dalam air. Untuk hasil perhitungan nilai *density* dapat dilihat pada **Tabel 4.13**.

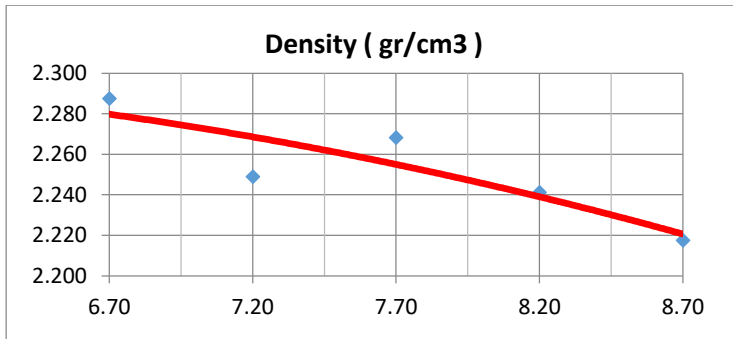
Density merupakan hasil bagi antara berat kering dengan berat isi benda uji. Berikut adalah contoh perhitungan *density* benda uji 1 dengan kadar aspal 6,7%.

$$\begin{aligned}
 \text{Density}(F) &= \frac{\text{Berat kering } (B)}{\text{Berat SSD } (D) - \text{Berat dalam air}(C)} \\
 &= \frac{1120}{1134,5 - 649,5} = 2,309 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

Tabel 4.13 Hasil perhitungan *Density*

Benda uji nomor	Variasi kadar aspal (%)	Berat (Gram)			Volume benda Uji (Cm ³)	B.J Bulk Camp. (Gr/ Cm ³)
		Udara	Air	Jenuh		
	A	B	C	D	E	F
	-	Dari Laborat	Dari Laborat	Dari Laborat	D - C	$\frac{B}{E}$
1	6.70	1120.0	649.5	1134.5	485.0	2.309
2	6.70	1188.5	682.5	1201.0	518.5	2.292
3	6.70	1209.5	688.5	1223.5	535.0	2.261
<i>Rata - rata :</i>						2.287
1	7.20	1181.5	676.0	1196.5	520.5	2.270
2	7.20	1193.0	679.5	1209.0	529.5	2.253
3	7.20	1187.5	666.5	1200.5	534.0	2.224
<i>Rata - rata :</i>						2.249
1	7.70	1195.0	687.0	1208.5	521.5	2.291
2	7.70	1185.5	675.5	1201.0	525.5	2.256
3	7.70	1185.0	678.0	1203.0	525.0	2.257
<i>Rata - rata :</i>						2.268
1	8.20	1178.0	666.0	1193.0	527.0	2.235
2	8.20	1196.0	675.0	1211.0	536.0	2.231
3	8.20	1182.5	674.0	1198.0	524.0	2.257
<i>Rata - rata :</i>						2.241
1	8.70	1184.0	658.5	1196.5	538.0	2.201
2	8.70	1181.0	661.5	1195.0	533.5	2.214
3	8.70	1190.5	678.0	1210.0	532.0	2.238
<i>Rata - rata :</i>						2.217

Sumber :Perhitungan



Grafik 4.2 Grafik hasil perhitungan *density*

Sumber :Perhitungan

Berdasarkan grafik tersebut, dapat dilihat bahwa nilai *density* berbanding terbalik dengan jumlah kadar aspal. Semakin tinggi kadar aspal, nilai *density* semakin mengalami penurunan. Nilai *density* tertinggi yaitu pada kadar aspal 6,7% sebesar 2,287. Sedangkan nilai *density* terendah yaitu pada kadar aspal 8,7% sebesar 2,217.

4.4.2 Rongga Dalam Campuran (*Void in Mix*)

Rongga pada campuran juga dinyatakan sebagai persen dari total volume benda uji, merupakan volume pada campuran yang tidak terisi agregat dan aspal. (Suryana dkk, 2004). Data-data yang dibutuhkan untuk perhitungan VIM yaitu sebagai berikut :

Tabel 4.14 Data berat jenis agregat

Agregat		Bj.Bulk (γ_{Ov})	Bj. Semu (γ_{App})	% Berat total Agregat
10-20 mm	a	2,784	2,819	3
10-10 mm	b	2,764	2,827	23
Pasir	c	2,573	2,677	61
Abu.batu (0-5mm)	d	2,726	2,831	9
Filler	e	2,554	2,554	4

Sumber :Perhitungan

$$T = B_j \text{ Aspal} = 1,036$$

Hasil perhitungan nilai VIM dapat dilihat pada **Tabel 4.15**.

Tabel 4.15 Hasil perhitungan nilai VIM

Benda uji nomor	Kadar aspal (%)	Berat Jenis (Gr/Cm ³)			B.J Bulk Camp. (Gr/Cm ³)	Rongga Dalam Campuran (VIM)
		BJ.Bulk dari total agregat (Gr/Cm ³)	BJ.Efektif dari total agregat (Gr/Cm ³)	Berat Jenis maksimum teoritis campuran		
	A	G	H	I	F	M
	-	Lihat Catatan 1	Lihat Catatan 2	$\frac{100}{\frac{100-A}{H} + \frac{A}{T}}$		$\frac{100(I-F)}{I}$
1	6.70	2.673	2.698	2.436	2.309	5.20
2	6.70	2.673	2.698	2.436	2.292	5.90
3	6.70	2.673	2.698	2.436	2.261	7.19
Rata - rata :					2.287	6.10
1	7.20	2.673	2.698	2.418	2.270	6.14
2	7.20	2.673	2.698	2.418	2.253	6.84
3	7.20	2.673	2.698	2.418	2.224	8.05
Rata - rata :					2.249	7.01
1	7.70	2.673	2.698	2.401	2.291	4.57
2	7.70	2.673	2.698	2.401	2.256	6.05
3	7.70	2.673	2.698	2.401	2.257	6.00
Rata - rata :					2.268	5.54
1	8.20	2.673	2.698	2.384	2.235	6.25
2	8.20	2.673	2.698	2.384	2.231	6.41
3	8.20	2.673	2.698	2.384	2.257	5.35
Rata - rata :					2.241	6.00
1	8.70	2.673	2.698	2.367	2.201	7.04
2	8.70	2.673	2.698	2.367	2.214	6.49
3	8.70	2.673	2.698	2.367	2.238	5.48
Rata - rata :					2.217	6.34

Sumber :Perhitungan

Berikut adalah contoh perhitungan untuk benda uji 1 kadar aspal 6,7%..

Catatan 1

$$G = \frac{(a + b + c + d + e)}{\frac{a}{\gamma_{ov}(a)} + \frac{b}{\gamma_{ov}(b)} + \frac{c}{\gamma_{ov}(c)} + \frac{d}{\gamma_{ov}(d)} + \frac{e}{\gamma_{ov}(e)}}$$

$$G = \frac{(3 + 23 + 61 + 9 + 4)}{\frac{3}{2,784} + \frac{23}{2,764} + \frac{61}{2,573} + \frac{9}{2,726} + \frac{4}{2,554}} = 2,673$$

Catatan 2

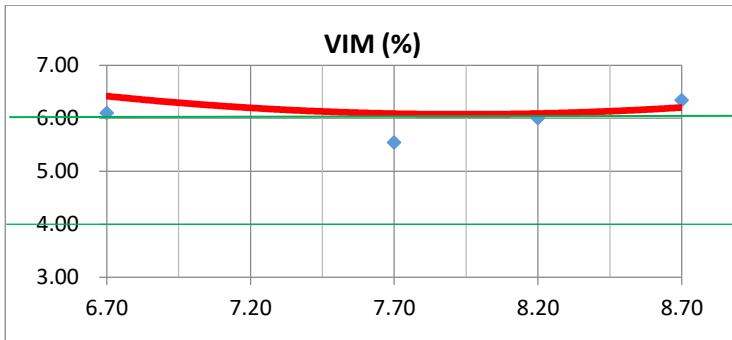
$$H = \frac{(a + b + c + d + e)}{\frac{a}{\gamma_{App}(a)} + \frac{b}{\gamma_{App}(b)} + \frac{c}{\gamma_{App}(c)} + \frac{d}{\gamma_{App}(d)} + \frac{e}{\gamma_{App}(e)}} + \frac{G}{2}$$

$$H = \frac{(3 + 23 + 61 + 9 + 4)}{\frac{3}{2,819} + \frac{23}{2,827} + \frac{61}{2,677} + \frac{9}{2,831} + \frac{4}{2,554}} + \frac{2,673}{2}$$

$$H = 2,698$$

$$I = \frac{100}{\frac{100-A}{H} + \frac{A}{T}} = \frac{100}{\frac{100-6,7}{2,698} + \frac{6,7}{1,036}} = 2,436$$

$$M = \frac{100 \times (I - F)}{I} = \frac{100 \times (2,436 - 2,309)}{2,436} = 5,2\%$$



Grafik 4.3 Grafik hasil perhitungan *VIM*
Sumber :Perhitungan

Grafik diatas menunjukkan hasil *VIM* yang didapat pada masing-masing benda uji. Seiring penambahan kadar aspal, nilai *VIM* cenderung mengalami kenaikan. Nilai *VIM* tertinggi yaitu pada benda uji 3 kadar aspal 7,2% sebesar 8,05. Sedangkan nilai *VIM* rata-rata terendah pada kadar aspal 7,7% sebesar 5,54.

Sesuai spesifikasi Bina Marga, nilai *VIM* untuk Lataston adalah sebesar 4%-6%. Dari seluruh benda uji, nilai *VIM* yang memenuhi spesifikasi hanya 2 variasi kadar aspal yaitu 7,7% dan 8,2%.

4.4.3 Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)

Rongga pada agregat mineral (VMA) dinyatakan sebagai persen dari total volume rongga dalam benda uji. Untuk hasil perhitungan nilai VMA dapat dilihat pada **Tabel 4.16**.

Tabel 4.16 Hasil perhitungan nilai VMA

Benda uji nomor	Kadar aspal (%)	% Kadar aspal Efektif total campuran	Kadar aspal efektif	Rongga Dalam Campuran (VIM)	Penyerapan aspal thd total campuran	Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)
	A	J	K	M	V	N
	-	Dari Laborat		$\frac{100(D-I)}{D}$		
1	6.70	6.37	14.71	5.20	0.329	19.92
2	6.70	6.37	14.60	5.90	0.329	20.51
3	6.70	6.37	14.40	7.19	0.329	21.60
Rata - rata :		6.37	14.57	6.10	0.329	20.67
1	7.20	6.87	15.60	6.14	0.327	21.74
2	7.20	6.87	15.48	6.84	0.327	22.33
3	7.20	6.87	15.28	8.05	0.327	23.33
Rata - rata :		6.87	15.46	7.01	0.327	22.47
1	7.70	7.37	7.37	4.57	0.325	21.47
2	7.70	7.37	7.37	6.05	0.325	22.69
3	7.70	7.37	7.37	6.00	0.325	22.65
Rata - rata :		7.37	7.37	5.54	0.325	22.27
1	8.20	7.88	16.90	6.25	0.324	23.85
2	8.20	7.88	16.64	6.41	0.324	23.99
3	8.20	7.88	16.65	5.35	0.324	23.12
Rata - rata :		7.88	16.73	6.00	0.324	23.65
1	8.70	8.38	17.61	7.04	0.322	25.48
2	8.70	8.38	17.57	6.49	0.322	25.04
3	8.70	8.38	17.77	5.48	0.322	24.22
Rata - rata :		8.38	17.65	6.34	0.322	24.91

Sumber :Perhitungan

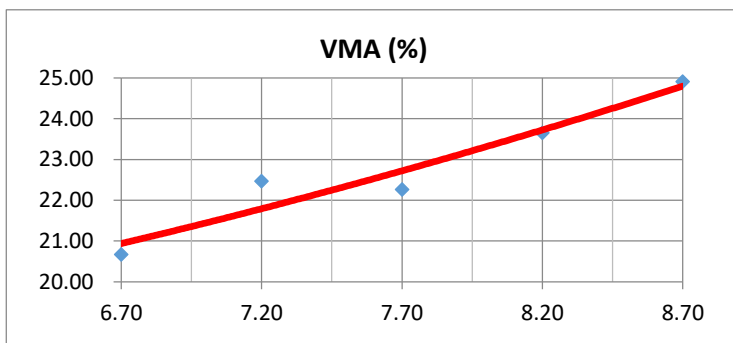
Berikut adalah contoh perhitungan untuk benda uji 1 kadar aspal 6,7% :

$$J = A - V = 6,7 - 0,329 = 6,37$$

$$K = F \times J = 2,309 \times 6,37 = 14,71$$

$$\begin{aligned} V &= A + \frac{T(100 - A)}{G} - \frac{100T}{I} \\ &= 6,7 + \frac{1,036(100 - 6,7)}{2,673} - \frac{100(1,036)}{2,436} \\ &= 0,329 \end{aligned}$$

$$N = K + M = 14,71 + 5,20 = 19,92$$



Grafik 4.4 Grafik hasil perhitungan VMA
Sumber :Perhitungan

Sesuai grafik yang didapat, menunjukkan bahwa seiring penambahan kadar aspal yang digunakan maka nilai rongga dalam mineral agregat semakin bertambah. Didapat nilai rata-rata tertinggi sebesar 24,91% pada kadar aspal 8,7%, sedangkan terendah sebesar 20,67% pada kadar aspal 6,7%.

Berdasarkan spesifikasi Bina Marga, standar nilai minimal VMA untuk Lataston adalah 18%. Maka, dapat disimpulkan bahwa seluruh benda uji memenuhi spesifikasi.

4.4.4 Rongga Terisi Aspal (*Void Filled with Asphalt*)

Rongga terisi aspal merupakan bagian dari rongga yang berada di antara mineral agregat (VMA) yang terisi oleh aspal efektif, dinyatakan dalam persen. Hasil perhitungan nilai *VFA* dapat dilihat pada **Tabel 4.17**.

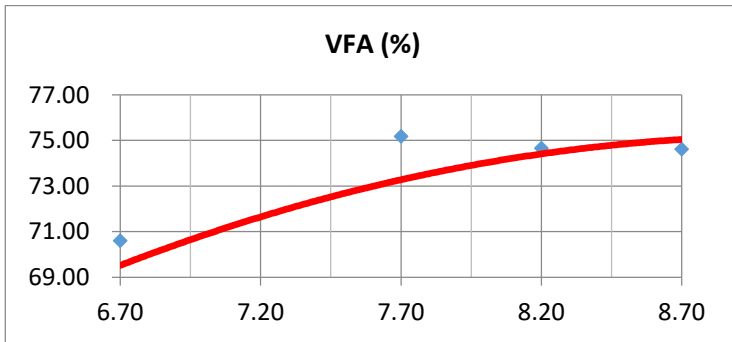
Tabel 4.17 Hasil perhitungan nilai *VFA*

Benda uji nomor	Kadar aspal (%)	Kadar aspal efektif	Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	Rongga Terisi Aspal (VFA)
	A	K	N	O
				$\frac{100 \times K}{N}$
1	6.70	14.71	19.92	73.88
2	6.70	14.60	20.51	71.21
3	6.70	14.40	21.60	66.69
Rata - rata :		14.57	20.67	70.59
1	7.20	15.60	21.74	71.75
2	7.20	15.48	22.33	69.36
3	7.20	15.28	23.33	65.50
Rata - rata :		15.46	22.47	68.87
1	7.70	7.37	21.47	78.71
2	7.70	7.37	22.69	73.33
3	7.70	7.37	22.65	73.50
Rata - rata :		7.37	22.27	75.18
1	8.20	16.90	23.85	73.81
2	8.20	16.64	23.99	73.27
3	8.20	16.65	23.12	76.87
Rata - rata :		16.73	23.65	74.65
1	8.70	17.61	25.48	72.37
2	8.70	17.57	25.04	74.06
3	8.70	17.77	24.22	77.39
Rata - rata :		17.65	24.91	74.61

Sumber : Perhitungan

Berikut adalah contoh perhitungan untuk benda uji 1 kadar aspal 6,7% :

$$\begin{aligned} VFA (K) &= \frac{K}{N} \times 100\% \\ &= \frac{14.71}{19.992} \times 100\% = 73.88\% \end{aligned}$$



Grafik 4.5 Grafik hasil perhitungan VFA
Sumber :Perhitungan

Grafik diatas menunjukkan bahwa semakin bertambahnya kadar aspal yang digunakan, nilai VFA yang didapat cenderung semakin meningkat. Nilai rata-rata VFA terbesar yaitu kadar aspal 7,7% sebesar 75,18%, sedangkan nilai rata-rata VMA terkecil yaitu kadar aspal 7,2% sebesar 68,87%. Hal ini sesuai dengan pernyataan Purnamasari P.E dan Surmayan F. (2010) bahwa seiring penambahan kadar aspal, nilai VFA juga semakin meningkat.

Sesuai spesifikasi Bina Marga, standar minimal VFA untuk Lataston adalah 68%. Dapat disimpulkan bahwa seluruh variasi kadar aspal memenuhi spesifikasi.

4.4.5 Stabilitas Marshall

Nilai Stabilitas Marshall didapatkan dari hasil pembacaan arloji pada alat Uji Marshall. Titik pembacaan pada saat arloji pembebanan berhenti dan mulai kembali menurun. Untuk hasil pengujian stabilitas marshall dapat dilihat pada **Tabel 4.18**.

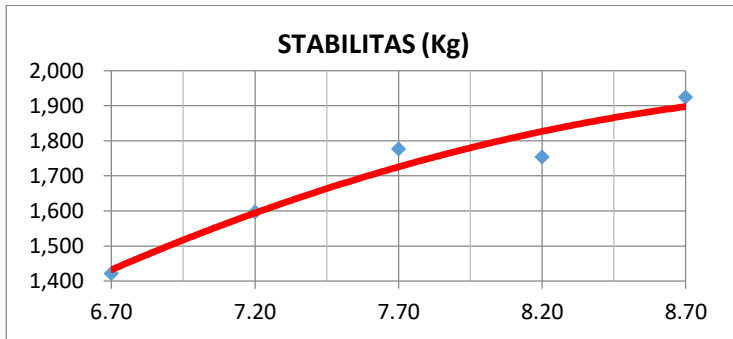
Tabel 4.18 Hasil perhitungan nilai stabilitas marshall

Benda uji nomor	Kadar aspal (%)	Stabilitas (bacaan)	Kalibrasi	Stabilitas
	A	P		Q
1	6.70	76	13.85	1053
2	6.70	106	13.85	1468
3	6.70	126	13.85	1745
Rata - rata :		103	13.85	1422
1	7.20	135	13.85	1870
2	7.20	102	13.85	1413
3	7.20	109	13.85	1510
Rata - rata :		115	13.85	1597
1	7.70	134	13.85	1856
2	7.70	147	13.85	2036
3	7.70	104	13.85	1440
Rata - rata :		128	13.85	1777
1	8.20	97	13.85	1343
2	8.20	139	13.85	1925
3	8.20	144	13.85	1994
Rata - rata :		127	13.85	1754
1	8.70	133	13.85	1842
2	8.70	150	13.85	2078
3	8.70	134	13.85	1856
Rata - rata :		139	13.85	1925

Sumber :Perhitungan

Berikut adalah contoh perhitungan untuk benda uji 1 kadar aspal 6,7% :

$$\begin{aligned}\text{Stabilitas (Q)} &= \text{Hasil bacaan (P)} \times \text{Kalibrasi} \\ &= 76 \times 13,85 \\ &= 1053 \text{ kg}\end{aligned}$$



Grafik 4.6 Grafik hasil pengujian Stabilitas Marshall
Sumber :Perhitungan

Dari grafik diatas, terjadi peningkatan seiring dengan penambahan kadar aspal. Nilai rata-rata stabilitas tertinggi yaitu kadar aspal 8,7% sebesar 1925 kg, dan terendah kadar aspal 6,7% sebesar 1422 kg. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga, standar minimal stabilitas untuk Lataston adalah 800 kg. Maka dapat disimpulkan bahwa seluruh nilai rata-rata stabilitas masing-masing variasi kadar aspal telah memenuhi spesifikasi.

4.4.6 Pelelehan (*Flow*)

Pelelehan (*flow*) adalah besarnya perubahan bentuk plastik suatu benda uji campuran beraspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas keruntuhan, dan dinyatakan dalam satuan panjang. Nilai *flow* didapatkan dari pembacaan arloji pada alat Uji Marshall ketika arloji stabilitas berhenti. Hasil pengujian *flow* dapat dilihat pada **Tabel 4.19** .

Tabel 4.19 Hasil perhitungan nilai pelelehan (*flow*)

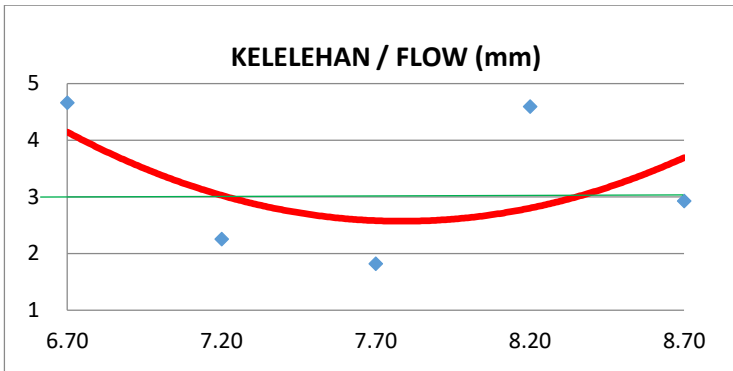
Benda uji nomor	Kadar aspal (%)	Pelelehan (<i>flow</i>)	
	A	Bacaan	Bacaan x 0.01
1	6.70	365	3.65
2	6.70	535	5.35
3	6.70	498	4.98
Rata - rata :		466	4.66
1	7.20	348	3.48
2	7.20	90	0.90
3	7.20	238	2.38
Rata - rata :		225	2.25
1	7.70	125	1.25
2	7.70	220	2.20
3	7.70	200	2.00
Rata - rata :		182	1.82
1	8.20	470	4.70
2	8.20	400	4.00
3	8.20	508	5.08
Rata - rata :		459	4.59
1	8.70	307	3.07
2	8.70	380	3.80
3	8.70	190	1.90
Rata - rata :		292	2.92

Sumber : Perhitungan

Berikut adalah contoh perhitungan nilai *flow* untuk benda uji 1 kadar aspal 6,7% :

$$Flow = \text{Bacaan} \times 0,01$$

$$= 365 \times 0,01 = 3,65 \text{ mm}$$



Grafik 4.7 Grafik hasil pengujian pelelehan (*flow*)

Sumber :Perhitungan

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa seiring bertambahnya penambahan kadar aspal, *flow* yang didapat cenderung menurun pada kadar aspal 6,7%-7,2%, kemudian terjadi peningkatan kembali pada kadar aspal 7,7%. Nilai rata-rata tertinggi didapat sebesar 466 dan terendah sebesar 182.

Sesuai spesifikasi Bina Marga, standar nilai *flow* untuk Lataston minimal 3 mm. Maka, benda uji yang memenuhi spesifikasi adalah kadar aspal 6,7% dan 8,2%.

4.4.7 *Marshall Qoutient*

Menurut Bustaman (2000) menyatakan bahwa *Marshall Quotient* merupakan hasil bagi dari stabilitas terhadap kelelehan yang digunakan untuk pendekatan terhadap tingkat kekakuan atau fleksibilitas campuran.

Tabel 4.20 Hasil perhitungan nilai *Marshall Quotient*

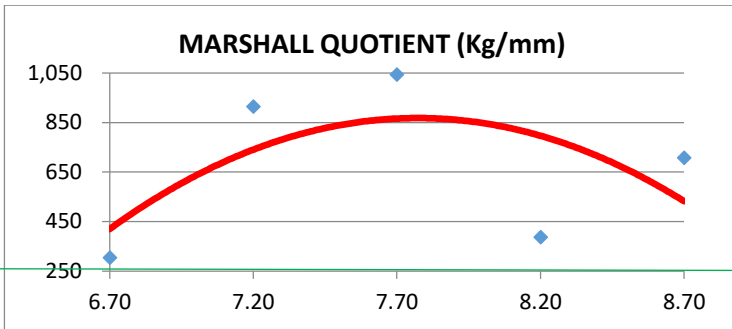
Benda uji nomor	Kadar aspal (%)	Stabilitas	Pelelehan (<i>flow</i>)	<i>Marshall Quotient</i>
	A			
1	6.70	1053	3.65	288
2	6.70	1468	5.35	274
3	6.70	1745	4.98	350
<i>Rata - rata :</i>		1422	4.66	304.4
1	7.20	1870	3.48	537
2	7.20	1413	0.90	1570
3	7.20	1510	2.38	634
<i>Rata - rata :</i>		1597	2.25	913.8
1	7.70	1856	1.25	1485
2	7.70	2036	2.20	925
3	7.70	1440	2.00	720
<i>Rata - rata :</i>		1777	1.82	1043
1	8.20	1343	4.70	286
2	8.20	1925	4.00	481
3	8.20	1994	5.08	393
<i>Rata - rata :</i>		1754	4.59	386.6
1	8.70	1842	3.07	600
2	8.70	2078	3.80	547
3	8.70	1856	1.90	977
<i>Rata - rata :</i>		1925	2.92	708

Sumber :Perhitungan

Berikut adalah contoh perhitungan untuk benda uji 1 kadar aspal 6,7% :

Marshall Quotient = Stabilitas x *flow*

Marshall Quotient = 1053 x 3,65 = 288 kg/mm



Grafik 4.8 Grafik hasil perhitungan *Marshall Quotient*
Sumber :Perhitungan

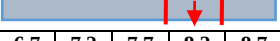
Hasil grafik diatas menunjukkan bahwa nilai *MQ* meningkat seiring bertambahnya kadar aspal yang digunakan dengan rentang 6,7-7,7%, kemudian terjadi penurunan kembali pada kadar aspal 7,2-8,7%. Hal ini sesuai dengan pernyataan Bustaman (2000) bahwa nilai *marshall quotient* bertambah seiring dengan penambahan kadar aspal, tetapi setelah mencapai penambahan kadar aspal optimum cenderung terjadi penurunan terhadap nilai *marshall quotient* tersebut.

Sesuai spesifikasi Bina Marga, standar nilai *Marshall Quotient* untuk Lataston minimal 250 kg/mm. Maka, semua nilai *Marshall Quotient* benda uji memenuhi spesifikasi.

4.4.8 Kadar Aspal Optimum

Setelah dilakukan Uji Marshall, didapatkan hasil dari seluruh parameter Marshall. Hasil tersebut kemudian dianalisa apakah telah memenuhi spesifikasi atau tidak. Kadar aspal yang paling banyak memenuhi spesifikasi yang akan dijadikan kadar aspal optimum. Nilai kadar aspal optimum dapat dilihat pada **Tabel 4.21**.

Tabel 4.21 Nilai kadar aspal optimum setelah uji marshall

Parameter Marshall	Spesifikasi	Rentang	Kadar Aspal Optimum (KAO %)				
Stabilitas	> 800 Kg	6,7 - 8,7					
Flow	> 3 mm	6,7 ; 8,2					
VIM	4 - 6%	7,7 - 8,2					
VFA	> 68%	6,7 - 8,7					
VMA	> 18%	6,7 - 8,7					
MQ	>250 kg/mm	6,7 - 8,7					
Kadar Aspal Rencana (Pb %)			6,7	7,2	7,7	8,2	8,7
Kadar Aspal Optimum (%)			8,2				

Sumber :Perhitungan

Berdasarkan hasil uji marshall yang dapat dilihat pada tabel diatas, didapat nilai kadar aspal optimum sebesar 8,20 % dan nantinya sebagai dasar atau acuan untuk kadar aspal yang digunakan pada aspal plastik.

4.5 Perencanaan Pembuatan Benda Uji Campuran PET

Setelah didapatkan nilai kadar aspal optimum yaitu 8,2%, dibuat beberapa macam benda uji dengan 4 variasi kadar plastik. Untuk pembuatan benda uji digunakan variasi kadar plastik 2%; 4%; 6%; dan 8%. Sebelum dilakukan pembuatan benda uji, terlebih dahulu dilakukan perhitungan untuk menentukan proporsi masing-masing saringan dengan berat total 1200 gram tiap benda uji. Hasil perhitungan proporsi campuran bahan tiap variasi, dapat dilihat pada **Tabel 4.22** sampai **Tabel 4.25**.

Tabel 4.22 Proporsi campuran kadar plastik 2%

Kadar Aspal Optimum	:	8,2	%
Berat Sampel	:	1200	gr
Berat Aspal Total	:	98,40	gr
Berat Plastik	2% :	1,97	gr
Berat Kadar Aspal	:	96,43	gr
Berat Agregat	:	1101,60	gr

Sumber :Perhitungan

$$\begin{aligned} \text{Berat Plastik} &: \frac{\%plastik}{100\%} \times \text{berat kadar aspal} \\ &\frac{2}{100} \times 98,40 = 1,97 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\text{Berat Aspal} : 98,40 - 1,97 = 96,43 \text{ gr}$$

$$\text{Berat Agregat} : 1200 - 98,40 = 1101,60 \text{ gr}$$

Tabel 4.23 Proporsi campuran kadar plastik 4%

Kadar Aspal Optimum	:	8,2	%
Berat Sampel	:	1200	gr
Berat Aspal Total	:	98,40	gr
Berat Plastik	4% :	3,94	gr
Berat Kadar Aspal	:	94,46	gr
Berat Agregat	:	1101,60	gr

Sumber :Perhitungan**Tabel 4.24** Proporsi campuran kadar plastik 6%

Kadar Aspal Optimum	:	8,2	%
Berat Sampel	:	1200	gr
Berat Aspal Total	:	98,40	gr
Berat Plastik	6% :	5,90	gr
Berat Kadar Aspal	:	92,50	gr
Berat Agregat	:	1101,60	gr

Tabel 4.25 Proporsi campuran kadar plastik 8%

Kadar Aspal Optimum	:	8,2	%
Berat Sampel	:	1200	gr
Berat Aspal Total	:	98,40	gr
Berat Plastik	8% :	7,87	gr
Berat Kadar Aspal	:	90,53	gr
Berat Agregat	:	1101,60	gr

Sumber :Perhitungan

Berat agregat sebesar 1101,60 gr dibagi kembali menjadi berat per saringan sesuai presentase tertahan masing-masing saringan pada JMF. Hasil perhitungan berat agregat tiap saringan dapat dilihat pada **Tabel 4.26**.

Tabel 4.26 Berat agregat tiap saringan

No. Saringan	Persen Lolos	Persen Tertahan	Berat Agregat
3/4"	100	0	0
1/2"	96	4	47,70
3/8"	85	15	159,79
No. 4	72	28	312,65
No. 8	65	35	387,37
No. 16	52	48	524,82
No. 30	41	59	648,97
No. 50	25	75	828,34
No. 100	15	85	936,79
No. 200	10	90	990,12
Filler	0	100	1101,60

Sumber :Perhitungan

4.6 Pengujian Marshall Benda Uji Campuran PET

Hasil akhir yang diperoleh dari pengujian benda uji dengan penambahan plastik yaitu nilai parameter marshall antara lain *density*, *void in mix*, *void in mineral aggregate*, *void filled*

asphalt, kelelehan(*flow*), stabilitas, dan *marshall quotient* sesuai dengan peraturan Bina Marga Umum 2010, devisi 6 revisi 3.

4.6.1 Density

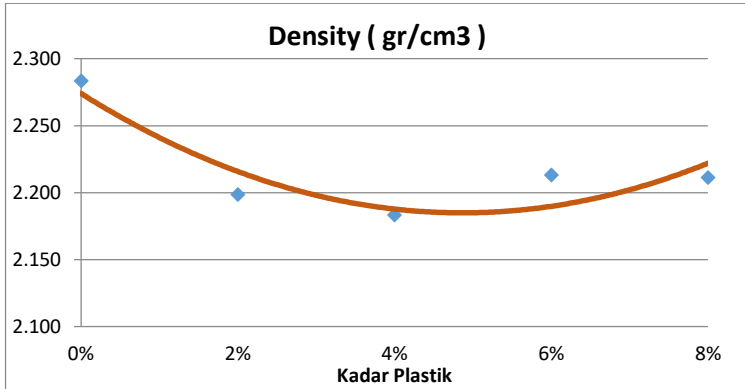
Hasil perhitungan nilai *density* dapat dilihat pada **Tabel 4.27**.

Tabel 4.27 Hasil perhitungan *Density*

Benda uji nomor	Variasi kadar plastik (%)	Berat (Gram)			Volume benda Uji (Cm³)	B.J Bulk Camp. (Gr/ Cm³)
		Udara	Air	Jenuh		
	A	B	C	D	E	F
	-	Dari Laborat	Dari Laborat	Dari Laborat	D - C	$\frac{B}{E}$
1	0%	1176.5	677.5	1187.5	510.0	2.307
2		1188.5	681.0	1196.0	515.0	2.308
3		1176.0	662.0	1188.0	526.0	2.236
Rata - rata :						2.283
1	2%	1190.0	669.0	1200.0	531.0	2.241
2		1191.5	660.0	1187.0	527.0	2.261
3		1172.5	639.5	1199.5	560.0	2.094
Rata - rata :						2.199
1	4%	1186.5	655.0	1200.5	545.5	2.175
2		1194.0	659.5	1205.5	546.0	2.187
3		1193.5	661.0	1206.5	545.5	2.188
Rata - rata :						2.183
1	6%	1174.0	657.5	1192.0	534.5	2.197
2		1177.0	659.5	1191.5	532.0	2.212
3		1190.5	668.5	1202.5	534.0	2.229
Rata - rata :						2.213
1	8%	1180.5	670.0	1194.0	524.0	2.253
2		1180.0	653.5	1195.5	542.0	2.177
3		1181.0	660.0	1196.0	536.0	2.203
Rata - rata :						2.211

Sumber :Perhitungan

Density merupakan hasil bagi antara berat kering dengan berat isi benda uji. Contoh perhitungan *density* benda uji dengan campuran plastik sama dengan contoh perhitungan *density* tanpa campuran plastik.



Grafik 4.9 Grafik hasil perhitungan *density*
Sumber :Perhitungan

Berdasarkan grafik tersebut, dapat dilihat bahwa nilai *density* berbanding terbalik dengan jumlah kadar plastik. Semakin tinggi kadar plastik, nilai *density* semakin menurun. Namun meningkat kembali pada kadar plastik 6%. Nilai *density* tertinggi yaitu pada kadar plastik 0% sebesar 2,283. Sedangkan nilai *density* terendah yaitu pada kadar plastik 4% sebesar 2,183.

4.6.2 Rongga Dalam Campuran (*Void in Mix*)

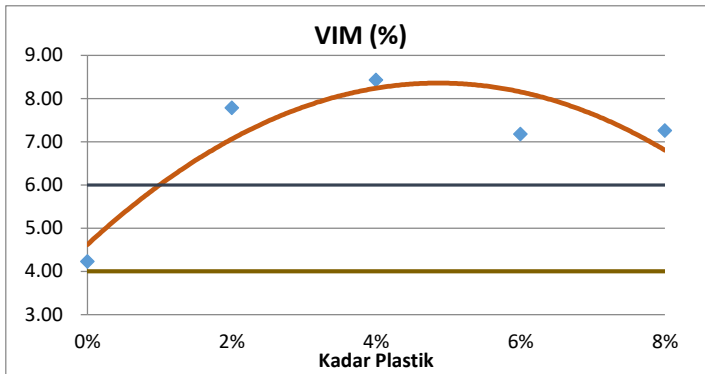
Hasil perhitungan nilai VIM dapat dilihat pada **Tabel 4.28**.

Tabel 4.28 Hasil perhitungan nilai VIM

Benda uji nomor	Kadar plastik (%)	Berat Jenis (Gr/Cm³)			B.J Bulk Camp. (Gr/Cm³)	Rongga Dalam Campuran (VIM)
		BJ.Bulk dari total agregat (Gr/Cm3)	BJ.Efektif dari total agregat (Gr/Cm3)	Berat Jenis maksimum teoritis campuran		
	A	G	H	I	F	M
	-	Lihat Catatan 1	Lihat Catatan 2	$\frac{100}{\frac{100-A}{H} + \frac{A}{T}}$		$\frac{100(I-F)}{I}$
1	0%	2.673	2.698	2.384	2.307	3.24
2		2.673	2.698	2.384	2.308	3.21
3		2.673	2.698	2.384	2.236	6.23
Rata - rata :					2.283	4.23
1	2%	2.673	2.698	2.384	2.241	6.00
2		2.673	2.698	2.384	2.261	5.17
3		2.673	2.698	2.384	2.094	12.18
Rata - rata :					2.199	7.79
1	4%	2.673	2.698	2.384	2.175	8.77
2		2.673	2.698	2.384	2.187	8.28
3		2.673	2.698	2.384	2.188	8.23
Rata - rata :					2.183	8.43
1	6%	2.673	2.698	2.384	2.197	7.84
2		2.673	2.698	2.384	2.212	7.21
3		2.673	2.698	2.384	2.229	6.49
Rata - rata :					2.213	7.18
1	8%	2.673	2.698	2.384	2.253	5.51
2		2.673	2.698	2.384	2.177	8.69
3		2.673	2.698	2.384	2.203	7.59
Rata - rata :					2.211	7.26

Sumber :Perhitungan

Contoh perhitungan *VIM* benda uji dengan campuran plastik sama dengan contoh perhitungan *VIM* tanpa campuran plastik.



Grafik 4.10 Grafik hasil perhitungan *VIM*
Sumber :Perhitungan

Grafik diatas menunjukkan hasil *VIM* yang didapat pada masing-masing benda uji. Seiring penambahan kadar plastik, nilai *VIM* cenderung mengalami kenaikan. Namun, kembali menurun pada kadar plastik 6%. Nilai *VIM* tertinggi yaitu pada kadar plastik 4% sebesar 8,43. Sedangkan nilai *VIM* terendah pada kadar plastik 0% sebesar 4,23.

Sesuai spesifikasi Bina Marga, nilai *VIM* untuk Lataston adalah sebesar 4%-6%. Dari seluruh benda uji, nilai *VIM* yang memenuhi spesifikasi hanya benda uji dengan kadar plastik 0%.

4.6.3 Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)

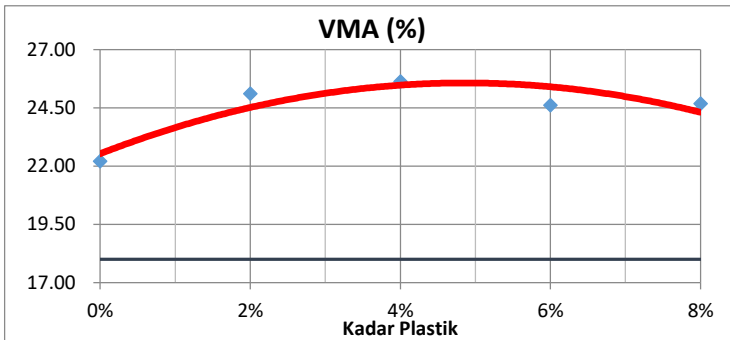
Hasil perhitungan nilai VMA dapat dilihat pada **Tabel 4.29.**

Tabel 4.29 Hasil perhitungan nilai VMA

Benda uji nomor	Kadar plastik (%)	% Kadar aspal Efektif total campuran	Kadar aspal efektif	Rongga Dalam Campuran (VIM)	Penyerapan aspal thd total campuran	Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)
	A	J	K	M	V	N
	-	Dari Laborat		$\frac{100(D-I)}{D}$		
1	0%	7.88	18.17	3.24	0.324	21.41
2		7.88	18.18	3.21	0.324	21.38
3		7.88	17.61	6.23	0.324	23.84
Rata - rata :		7.88	17.99	4.23	0.324	22.21
1	2%	7.88	17.65	6.00	0.324	23.66
2		7.88	17.81	5.17	0.324	22.98
3		7.88	16.49	12.18	0.324	28.67
Rata - rata :		7.88	17.32	7.79	0.324	25.10
1	4%	7.88	17.13	8.77	0.324	25.90
2		7.88	17.22	8.28	0.324	25.50
3		7.88	17.23	8.23	0.324	25.47
Rata - rata :		7.88	17.20	8.43	0.324	25.62
1	6%	7.88	17.31	7.84	0.324	25.14
2		7.88	17.43	7.21	0.324	24.63
3		7.88	17.56	6.49	0.324	24.05
Rata - rata :		7.88	17.43	7.18	0.324	24.61
1	8%	7.88	17.74	5.51	0.324	23.25
2		7.88	17.15	8.69	0.324	25.83
3		7.88	17.35	7.59	0.324	24.94
Rata - rata :		7.88	17.42	7.26	0.324	24.68

Sumber :Perhitungan

Contoh perhitungan *VMA* benda uji dengan campuran plastik sama dengan contoh perhitungan *VMA* tanpa campuran plastik.



Grafik 4.11 Grafik hasil perhitungan *VMA*

Sumber :Perhitungan

Sesuai grafik yang didapat, menunjukkan bahwa seiring penambahan kadar plastik yang digunakan maka nilai rongga dalam mineral agregat semakin bertambah. Namun, terjadi penurunan kembali pada kadar plastik 6%. Didapat nilai tertinggi sebesar 25,62% pada kadar plastik 4%, sedangkan terendah sebesar 22,21% pada kadar plastik 0%.

Berdasarkan spesifikasi Bina Marga, standar nilai *VMA* untuk Lataston adalah 18%. Maka, dapat disimpulkan bahwa seluruh benda uji memenuhi spesifikasi.

4.6.4 Rongga Terisi Aspal (*Void Filled with Asphalt*)

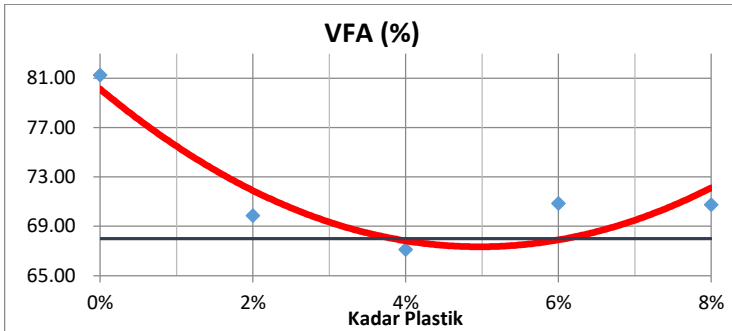
Hasil perhitungan nilai VFA dapat dilihat pada **Tabel 4.30**.

Tabel 4.30 Hasil perhitungan nilai VFA

Benda uji nomor	Kadar plastik (%)	Kadar aspal efektif	Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	Rongga Terisi Aspal (VFA)
	A	K	N	O
				$\frac{100 \times K}{N}$
1	0%	18.17	21.41	84.85
2		18.18	21.38	85.00
3		17.61	23.84	73.88
Rata - rata :		17.99	22.21	81.24
1	2%	17.65	23.66	74.62
2		17.81	22.98	77.49
3		16.49	28.67	57.51
Rata - rata :		17.32	25.10	69.87
1	4%	17.13	25.90	66.14
2		17.22	25.50	67.54
3		17.23	25.47	67.67
Rata - rata :		17.20	25.62	67.11
1	6%	17.31	25.14	68.83
2		17.43	24.63	70.74
3		17.56	24.05	73.00
Rata - rata :		17.43	24.61	70.86
1	8%	17.74	23.25	76.31
2		17.15	25.83	66.38
3		17.35	24.94	69.58
Rata - rata :		17.42	24.68	70.76

Sumber :Perhitungan

Contoh perhitungan *VFA* benda uji dengan campuran plastik sama dengan contoh perhitungan *VFA* tanpa campuran plastik.



Grafik 4.12 Grafik hasil perhitungan *VFA*

Sumber : Perhitungan

Grafik diatas menunjukkan bahwa semakin bertambahnya kadar plastik yang digunakan, nilai *VFA* yang didapat cenderung semakin menurun. Namun, terjadi peningkatan kembali pada kadar plastik 6%. Nilai rata-rata *VFA* terbesar yaitu kadar plastik 0% sebesar 81,24%, sedangkan nilai rata-rata *VMA* terkecil yaitu kadar plastik 4% sebesar 67,11%.

Sesuai spesifikasi Bina Marga, standar minimal *VFA* untuk Lataston adalah 68%. Dapat disimpulkan bahwa hanya kadar plastik 4% yang tidak memenuhi spesifikasi.

4.6.5 Stabilitas Marshall

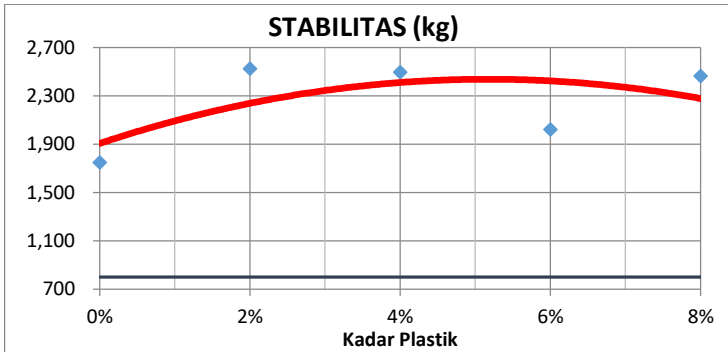
Hasil pengujian stabilitas marshall dapat dilihat pada **Tabel 4.31**.

Tabel 4.31 Hasil perhitungan nilai stabilitas marshall

Benda uji nomor	Kadar plastik (%)	Stabilitas (bacaan)	Kalibrasi	Stabilitas
	A	P		Q
1	0%	114	13.85	1579
2		139	13.85	1925
3		126	13.85	1745
Rata - rata :		126	13.85	1750
1	2%	148	13.85	2050
2		175	13.85	2424
3		224	13.85	3102
Rata - rata :		182	13.85	2525
1	4%	196	13.85	2715
2		165	13.85	2286
3		180	13.85	2493
Rata - rata :		180	13.85	2498
1	6%	130	13.85	1801
2		140	13.85	1939
3		168	13.85	2327
Rata - rata :		146	13.85	2022
1	8%	190	13.85	2632
2		175	13.85	2424
3		169	13.85	2341
Rata - rata :		178	13.85	2465

Sumber :Perhitungan

Contoh perhitungan Stabilitas Marshall benda uji dengan campuran plastik sama dengan contoh perhitungan Stabilitas Marshall tanpa campuran plastik.



Grafik 4.13 Grafik hasil pengujian Stabilitas Marshall

Sumber : Perhitungan

Dari grafik diatas, terjadi peningkatan seiring dengan penambahan kadar plastik. Nilai stabilitas tertinggi yaitu kadar plastik 2% sebesar 2525 kg, dan terendah kadar plastik 0% sebesar 1750 kg. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga, standar minimal stabilitas untuk Lataston adalah 800 kg. Maka dapat disimpulkan bahwa seluruh nilai stabilitas masing-masing variasi kadar plastik telah memenuhi spesifikasi.

4.6.6 Pelelehan (*Flow*)

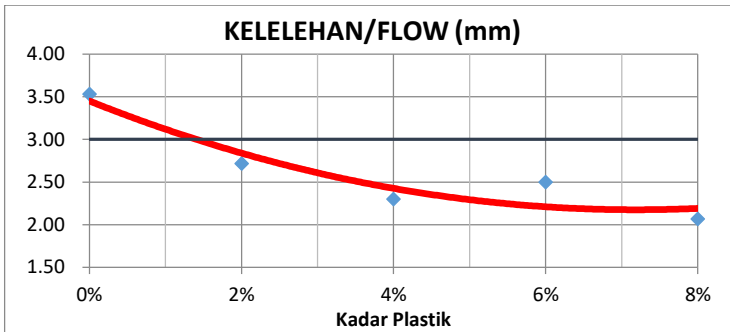
Hasil pengujian *flow* dapat dilihat pada **Tabel 4.32** .

Tabel 4.32 Hasil perhitungan nilai pelelehan (*flow*)

Benda uji nomor	Kadar plastik (%)	Pelelehan (<i>flow</i>)	
	A	Bacaan	Bacaan x 0.01
1	0%	380	3.80
2		350	3.50
3		330	3.30
<i>Rata - rata :</i>		353	3.53
1	2%	3.00	3.00
2		245	2.45
3		270	2.70
<i>Rata - rata :</i>		272	2.72
1	4%	300	3.00
2		120	1.20
3		270	2.70
<i>Rata - rata :</i>		230	2.30
1	6%	250	2.50
2		140	1.40
3		360	3.60
<i>Rata - rata :</i>		250	2.50
1	8%	230	2.30
2		170	1.70
3		220	2.20
<i>Rata - rata :</i>		207	2.07

Sumber : Perhitungan

Contoh perhitungan *Flow* benda uji dengan campuran plastik sama dengan contoh perhitungan *Flow* tanpa campuran plastik.



Grafik 4.14 Grafik hasil pengujian pelelehan (*flow*)

Sumber :Perhitungan

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa seiring bertambahnya penambahan kadar plastik, *flow* yang didapat cenderung menurun. Nilai tertinggi didapat sebesar 353 pada kadar plastik 0% dan terendah sebesar 207 pada kadar plastik 8%.

Sesuai spesifikasi Bina Marga, standar nilai *flow* untuk Lataston minimal 3 mm. Maka, benda uji yang memenuhi spesifikasi adalah kadar plastik 0%.

4.6.7 Marshall Quotient

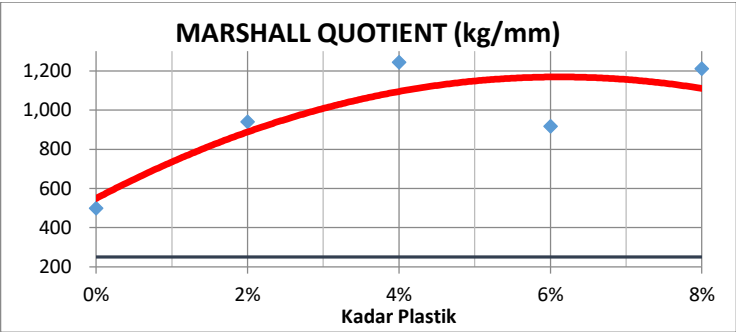
Menurut Bustaman (2000) menyatakan bahwa *Marshall Quotient* merupakan hasil bagi dari stabilitas terhadap kelelehan yang digunakan untuk pendekatan terhadap tingkat kekakuan atau fleksibilitas campuran. Hasil perhitungan nilai *Marshall Quotient* dapat dilihat pada **Tabel 4.33** .

Tabel 4.33 Hasil perhitungan nilai *Marshall Quotient*

Benda uji nomor	Kadar plastik (%)	Stabilitas	Pelelehan (flow)	Marshall Quotient
	A			
1	0%	1579	3.80	416
2		1925	3.50	550
3		1745	3.30	529
Rata - rata :		1750	3.53	498.1
1	2%	2050	3.00	683
2		2424	2.45	989
3		3102	2.70	1149
Rata - rata :		2525	2.72	940.5
1	4%	2715	3.00	905
2		2286	1.20	1904
3		2493	2.70	923
Rata - rata :		2498	2.30	1244
1	6%	1801	2.50	720
2		1939	1.40	1385
3		2327	3.60	646
Rata - rata :		2022	2.50	917.2
1	8%	2632	2.30	1144
2		2424	1.70	1426
3		2341	2.20	1064
Rata - rata :		2465	2.07	1211

Sumber :Perhitungan

Contoh perhitungan *Marshall Quotient* benda uji dengan campuran plastik sama dengan contoh perhitungan *Marshall Quotient* tanpa campuran plastik.



Grafik 4.15Grafik hasil perhitungan *Marshall Quotient*
Sumber :Perhitungan

Hasil grafik diatas menunjukkan bahwa nilai *MQ* meningkat seiring bertambahnya kadar plastik yang digunakan dengan rentang 0-4%, kemudian terjadi penurunan kembali pada kadar aspal 6%.

Sesuai spesifikasi Bina Marga, standar nilai *Marshall Quotient* untuk Lataston minimal 250 kg/mm. Maka, nilai *Marshall Quotient* seluruh benda uji memenuhi spesifikasi.

4.6.8 Rekapitulasi Hasil Penelitian Aspal Plastik

Berikut adalah rekapitulasi keseluruhan hasil penelitian aspal plastik.

Tabel 4.34 Rekap hasil penelitian aspal plastik

Item	Jenis	Produksi	Proporsi Campuran	Berat Jenis	Penyerapan Air
Agregat	10-20 mm	AMP Suramadu (Pasuruan)	3%	2.784	1.47%
	10-10 mm		23%	2.764	1.46%
	Pasir		61%	2.573	1.43%
	0-5 mm		9%	2.726	1.37%
	Filler		4%	2.554	-
Aspal	Pen 60/70	Pertamina	8.2%	1.036	-
Plastik	PET	Limbah	2%, 4%, 6%, dan 8%	-	-

Sumber :Perhitungan

Tabel 4.35 Rekap hasil uji Marshall aspal plastik

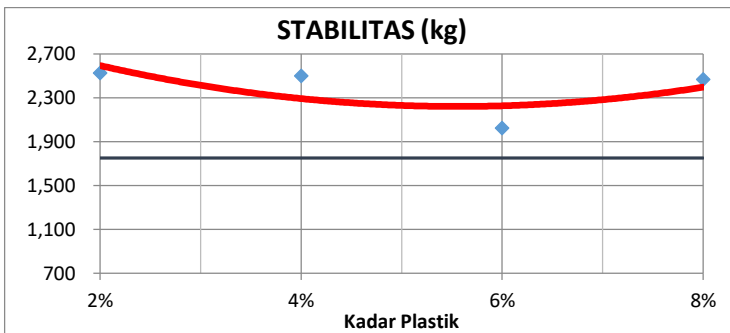
Kadar Plastik (%)	Benda Uji Nomor	Variasi Kadar Aspal (%)	Parameter Marshall						
			Density (gr/cm ³)	VIM	VMA	VFA	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)
			Spesifikasi						
				4% - 6%	>18%	>68%	>800 kg	>3 mm	>250 kg/mm
0%	1	8.20	2.307	3.24	21.41	84.85	1,579	3.80	416
0%	2	8.20	2.308	3.21	21.38	85.00	1,925	3.50	550
0%	3	8.20	2.236	6.23	23.84	73.88	1,745	3.30	529
Rata-rata			2.283	4.23	22.21	81.24	1,750	3.53	498
2%	1	8.20	2.241	6.00	23.66	74.62	2,050	3.00	683
2%	2	8.20	2.261	5.17	22.98	77.49	2,424	2.45	989
2%	3	8.20	2.094	12.18	28.67	57.51	3,102	2.70	1149
Rata-rata			2.199	7.79	25.10	69.87	2,525	2.72	941
4%	1	8.20	2.175	8.77	25.90	66.14	2,715	3.00	905
4%	2	8.20	2.187	8.28	25.50	67.54	2,285	1.20	1904
4%	3	8.20	2.188	8.23	25.47	67.67	2,493	2.70	923
Rata-rata			2.183	8.43	25.62	67.11	2,498	2.30	1244
6%	1	8.20	2.197	7.84	25.14	68.83	1,801	2.50	720
6%	2	8.20	2.212	7.21	24.63	70.74	1,939	1.40	1385
6%	3	8.20	2.229	6.49	24.05	73.00	2,327	3.60	646
Rata-rata			2.213	7.18	24.61	70.86	2,022	2.50	917
8%	1	8.20	2.253	5.51	23.25	76.31	2,632	2.30	1144
8%	2	8.20	2.177	8.69	25.83	66.38	2,424	1.70	1426
8%	3	8.20	2.203	7.59	24.94	69.58	2,341	2.20	1064
Rata-rata			2.211	7.26	24.68	70.76	2,465	2.07	1211

4.7 Perbandingan Campuran Aspal

Setelah dilakukan pengujian pada seluruh benda uji dengan variasi kadar plastik, dilakukan perbandingan antara benda uji campuran plastik dengan benda uji tanpa campuran plastik. Hal yang menjadi bahan pembanding yaitu nilai parameter Marshall dan Rencana Anggaran Biaya (RAB).

4.7.1 Parameter Marshall

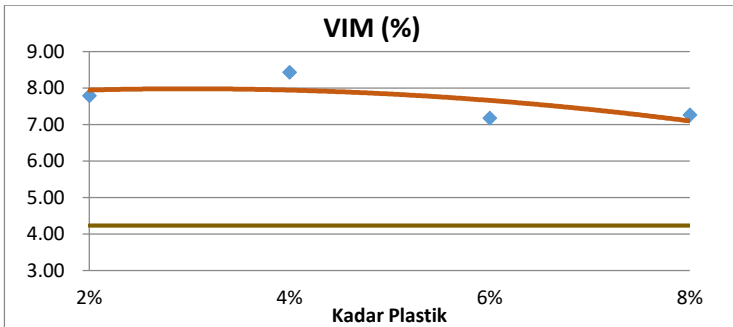
Parameter Marshall yang akan menjadi pembanding adalah Stabilitas, Rongga dalam Campuran, Pelelehan (*flow*), dan *Marshall Quotient*. Hasil perbandingan nilai parameter Marshall benda uji dengan dan tanpa PET dapat dilihat pada **Grafik 4.16** sampai **Grafik 4.19**.



Grafik 4.16 Grafik perbandingan nilai Stabilitas benda uji dengan dan tanpa PET

Sumber :Perhitungan

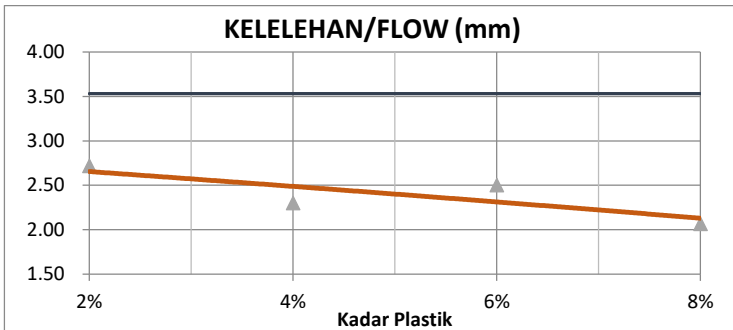
Hasil maksimal nilai Stabilitas yang didapat pada benda uji tanpa tambahan plastik yaitu sebesar 1750 kg. Sedangkan pada benda uji dengan penambahan plastik didapat hasil tertinggi sebesar 2525 kg. Sehingga terjadi peningkatan sebesar 44%.



Grafik 4.17 Grafik perbandingan nilai VIM benda uji dengan dan tanpa PET

Sumber :Perhitungan

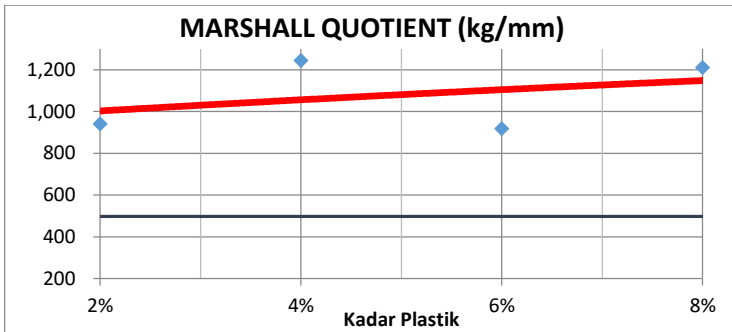
Hasil maksimal nilai *VIM* yang didapat pada benda uji tanpa tambahan plastik yaitu sebesar 4,23%. Sedangkan pada benda uji dengan penambahan plastik didapat hasil tertinggi sebesar 8,43 %. Sehingga terjadi peningkatan sebesar 99%.



Grafik 4.18 Grafik perbandingan nilai flow benda uji dengan dan tanpa PET

Sumber :Perhitungan

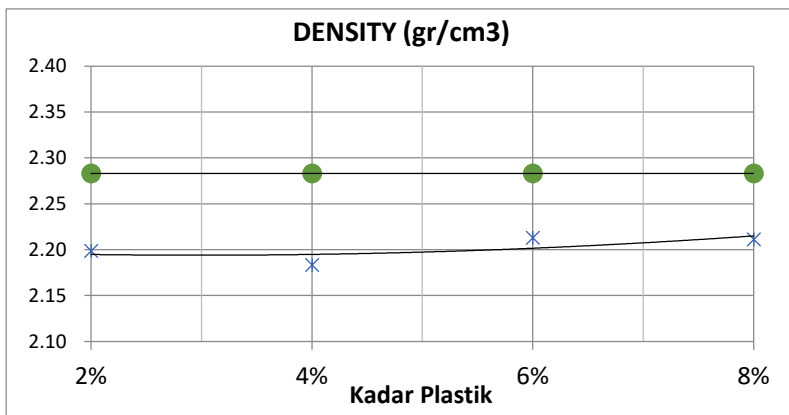
Hasil maksimal nilai *flow* yang didapat pada benda uji tanpa tambahan plastik yaitu sebesar 3,53 mm. Sedangkan pada benda uji dengan penambahan plastik didapat hasil tertinggi sebesar 2,72 mm. Sehingga terjadi penurunan sebesar 23%.



Grafik 4.19 Grafik perbandingan nilai Marshall Quotient benda uji dengan dan tanpa PET

Sumber :Perhitungan

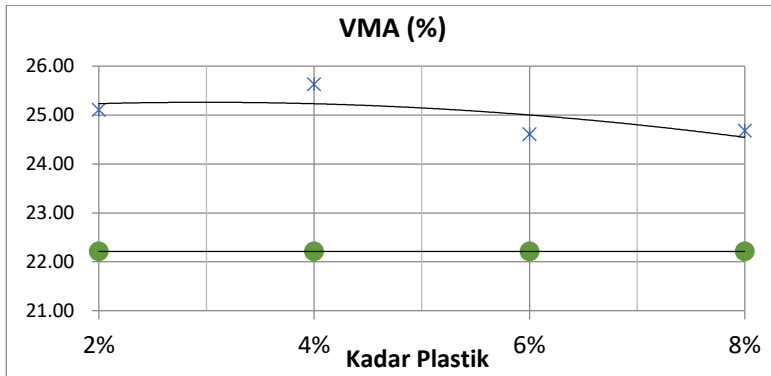
Hasil maksimal nilai *Marshall Quotient* yang didapat pada benda uji tanpa tambahan plastik yaitu sebesar 498,1 kg/mm. Sedangkan pada benda uji dengan penambahan plastik didapat hasil tertinggi sebesar 1244 kg/mm. Sehingga terjadi peningkatan sebesar 150%.



Grafik 4.20 Grafik perbandingan nilai *Density* benda uji dengan dan tanpa PET

Sumber :Perhitungan

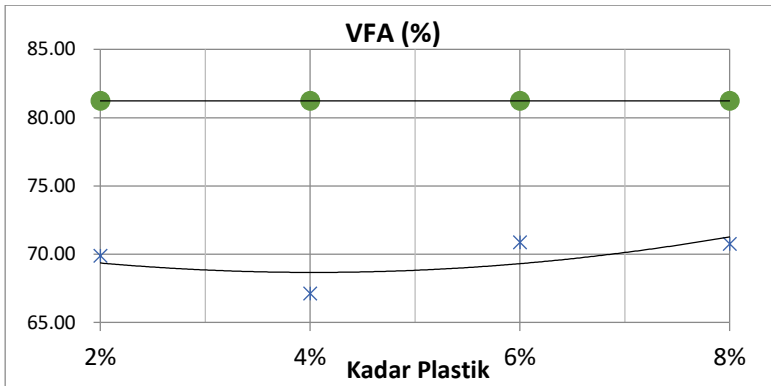
Hasil maksimal nilai *Marshall Quotient* yang didapat pada benda uji tanpa tambahan plastik yaitu sebesar 2,283 gr/cm³. Sedangkan pada benda uji dengan penambahan plastik didapat hasil tertinggi sebesar 2,21 gr/cm³. Sehingga terjadi penurunan sebesar 3,2%.



Grafik 4.21 Grafik perbandingan nilai VMA benda uji dengan dan tanpa PET

Sumber :Perhitungan

Hasil maksimal nilai VMA yang didapat pada benda uji tanpa tambahan plastik yaitu sebesar 22,21%. Sedangkan pada benda uji dengan penambahan plastik didapat hasil tertinggi sebesar 25,62%. Sehingga terjadi kenaikan sebesar 15,4%.



Grafik 4.21 Grafik perbandingan nilai VFAbenda uji dengan dan tanpa PET

Sumber :Perhitungan

Hasil maksimal nilai VFA yang didapat pada benda uji tanpa tambahan plastik yaitu sebesar 81,24%. Sedangkan pada benda uji dengan penambahan plastik didapat hasil tertinggi sebesar 70,68%. Sehingga terjadi penurunan sebesar 13%.

4.7.2 Anggaran Biaya

Parameter pembandingan kedua yaitu dari segi Rencana Anggaran Biaya (RAB). Dalam hal ini akan dibandingkan anggaran biaya pembuatan Lataston Lapis Aus per m^3 dengan dan tanpa penambahan *PET*. Anggaran biaya yang akan dibahas yaitu hanya dari segi material. Harga material yang digunakan mengacu pada harga material pada HSPK Surabaya. Hasil RAB untuk campuran Lataston tanpa penambahan PET dapat dilihat pada **Tabel 4.38**. Sedangkan campuran Lataston dengan campuran *PET* 6% dapat dilihat pada **Tabel 4.39**. Untuk perhitungan RAB pembuatan Lataston dengan campuran *PET* 2%, 4%, dan 8% tertera dalam lampiran.

Data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan RAB adalah volume pekerjaan yang terdiri dari data presentase agregat, berat jenis agregat, dan harga satuan material. Data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan RAB dapat dilihat pada **Tabel 4.36** dan **Tabel 4.37**.

Tabel 4.36 Data persentase dan berat jenis

Material	Persentase (%)	Berat Jenis (ton/m ³)
Aspal	8,20	1,036
Agregat kasar 10-20	3,00	2,784
Agregat kasar 10-10	23,00	2,764
Pasir	61,00	2,573
Agregat halus 0-5	9,00	2,726
Filler (Semen)	4,00	2,554

Sumber : Dokumentasi

Tabel 4.37 Koefisien dan Harga Satuan HSPK

No.	Uraian	Koefisien	Harga Satuan	Harga
1	Agregat kasar 20-10	0,244	Rp 250.000	Rp 61.000
2	Agregat kasar 10-10	0,244	Rp 250.000	Rp 61.000
3	Pasir	0,2481	Rp 272.500	Rp 67.607
4	Agregat halus 0-5	0,1538	Rp 210.000	Rp 32.298
5	Filler	0,462	Rp 72.700	Rp 33.587
6	Aspal	75,19	Rp 11.800	Rp 887.242

Sumber : HSPK Surabaya 2018

Tabel 4.38 Anggaran biaya Lataston Lapis Aus tanpa penambahan *PET*

No.	Uraian	Satuan	Kebutuhan	Jumlah Harga
1	-Agregat kasar 20-10	m ³	0,084	Rp5.094
2	-Agregat kasar 10-10	m ³	0,636	Rp38.784
3	-Pasir	m ³	1,570	Rp106.112
4	-Agregat halus 0-5	m ³	0,245	Rp7.923
5	-Filler	m ³	0,102	Rp3.431
6	-Aspal	Ton	0,085	Rp75.373
			TOTAL	Rp236.718

Sumber : Perhitungan

Tabel 4.39 Anggaran biaya Lataston Lapis Aus dengan penambahan *PET* 6%

No.	Uraian	Satuan	Kebutuhan	Jumlah Harga
1	-Agregat kasar 20-10	m ³	0,084	Rp5.094
2	-Agregat kasar 10-10	m ³	0,636	Rp38.784
3	-Pasir	m ³	1,570	Rp106.112
4	-Agregat halus 0-5	m ³	0,245	Rp7.923
5	-Filler	m ³	0,102	Rp3.431
6	-Aspal	Ton	0,080	Rp70.851
7	-PET	Ton	0,005	-
			TOTAL	Rp232.195

Berikut adalah contoh perhitungan untuk harga Agregat 10-20 :

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan} &= \text{persentase} \times 1 \text{ m}^3 \times \text{berat jenis} \\
 &= 3\% \times 1 \text{ m}^3 \times 2,784 \\
 &= 0,084 \\
 \text{Jumlah Harga} &= \text{Kebutuhan} \times \text{harga} \\
 &= 0,084 \times \text{Rp } 61.000 \\
 &= \text{Rp } 5.094
 \end{aligned}$$

Setelah diketahui total anggaran biaya untuk masing-masing campuran, dilakukan perhitungan selisih biaya antar campuran.

$$\begin{aligned}\text{Selisih} &= \text{Harga total tanpa } PET - \text{Harga total dengan } PET \\ &= \text{Rp}236.718 - \text{Rp } 232.195 \\ &= \text{Rp}4.523 \text{ per m}^3\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa dengan penambahan plastik sebanyak 6% dari total berat aspal dapat mengurangi biaya sebanyak 1,9%.

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Sesuai dengan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Campuran Lataston Lapis Aus dengan penambahan *PET* yang paling optimum yaitu pada kadar aspal 8,2% dengan penambahan PET sebesar 6%
2. Dengan adanya penambahan plastik *PET* pada Lataston Lapis Aus menyebabkan adanya peningkatan nilai Stabilitas sebanyak 44%, *VIM* sebesar 99%, *VMA* sebesar 15,4% dan *Marshall Quotient* sebesar 150%. Namun terjadi penurunan pada nilai *flow* sebesar 23%, *density* sebesar 3,2%, dan *VFA* sebesar 13%.
3. Dari segi anggaran biaya, dengan adanya penambahan *PET* pada campuran Lataston Lapis Aus dapat mengurangi biaya sebesar 1,9%.

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk menerapkan metode baru dengan tidak mencari KAO terlebih dahulu, melainkan kadar plastik dicoba satu per satu pada setiap variasi kadar aspal.

Perlu diadakan kajian ulang terhadap berat jenis yang digunakan dalam perhitungan parameter Marshall. Karena berat jenis aspal dan plastik tidak bisa disamakan.

“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”

DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Jendral Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum RI, (1987), Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton untuk Jalan Raya, SKBI-2.4.26, PU, Jakarta.
- Direktorat Jendral Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum RI, (1987), Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen, SKBI-2.3.26, PU, Jakarta.
- Dirjen Bina Marga. (2010). Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Revisi 3. *Kementerian Pekerjaan Umum, Indonesia*.
- DKRTH, 2016.
<http://binamarga.pu.go.id/bm/index.php/produk/jaringan-jalan/jaringan-jalan-tahun-2009/504-kondisi-jalan-papua-disesuaikan-kebutuhan-dan-kemampuan-pendanaan>.
- Ir. Nyoman Suaryana, Ms., DR. Djoko Widayat, Ms., Ir. Kurniadji, Ms., Ir. Tatang A. Dachlan, M. E., & Ir. Anwar Yamin, Ms. (2004). *Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas* (RSNI-2 (PR). Jakarta: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah.
- Prameswari, P. (2016). Pengaruh Pemanfaatan PET pada Laston Lapis Pengikat Terhadap Parameter Marshall, 4(2), 294–305. Retrieved from <http://digilib.unila.ac.id/21664/>
- Rahmawati, A. (2015). PENGARUH PENGGUNAAN PLASTIK POLYETHYLENE (PE) DAN HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE) PADA CAMPURAN LATASTON-WC TERHADAP. *JURNAL ILMIAH SEMESTA TEKNIKA*, 18(2), 147–159.

Sukirman, Silvia, 1999, Perkerasan Lentur Jalan Raya, Bandung, Nova.

Widodo, A. D., Jihan, M. A., Nugroho, A., & Mugiono, T. (2015). PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BOTOL PLASTIK POLYPHTHYLENE TEREPHTHALATE (PET) DALAM CAMPURAN LASTON-WC TERHADAP PARAMETER MARSHALL, 1–12.

LAMPIRAN A

Tabel 1 Anggaran biaya Lataston Lapis Aus dengan penambahan PET
2% per m³

No.	Uraian	Satuan	Kebutuhan	Jumlah Harga
1	-Agregat kasar 20-10	m ³	0,084	Rp5.094
2	-Agregat kasar 10-10	m ³	0,636	Rp38.784
3	-Pasir	m ³	1,570	RP106.112
4	-Agregat halus 0-5	m ³	0,245	Rp7.923
5	-Filler	m ³	0,102	Rp3.431
6	-Aspal	Ton	0,083	Rp73.866
7	-PET	Ton	0,002	-
			TOTAL	Rp235.210

Tabel 2 Anggaran biaya Lataston Lapis Aus dengan penambahan PET
4% per m³

No.	Uraian	Satuan	Kebutuhan	Jumlah Harga
1	-Agregat kasar 20-10	m ³	0,084	Rp5.094
2	-Agregat kasar 10-10	m ³	0,636	Rp38.784
3	-Pasir	m ³	1,570	Rp106.112
4	-Agregat halus 0-5	m ³	0,245	Rp7.923
5	-Filler	m ³	0,102	Rp3.431
6	-Aspal	Ton	0,082	Rp72.358
7	-PET	Ton	0,003	-
			TOTAL	Rp233.703

Tabel 3 Anggaran biaya Lataston Lapis Aus dengan penambahan *PET* 8% per m³

No.	Uraian	Satuan	Koefisien	Jumlah Harga
1	-Agregat kasar 20-10	m ³	0,084	Rp5.094
2	-Agregat kasar 10-10	m ³	0,636	Rp38.784
3	-Pasir	m ³	1,570	Rp106.112
4	-Agregat halus 0-5	m ³	0,245	Rp7.923
5	-Filler	m ³	0,102	Rp3.431
6	-Aspal	Ton	0,078	Rp69.343
7	-PET	Ton	0,006	-
			TOTAL	Rp230.688

Tabel 4 Rekap hasil penelitian aspal plastik

Item	Jenis	Produksi	Proporsi Campuran	Berat Jenis	Penyerapan Air
Agregat	10-20 mm	AMP Suramadu (Pasuruan)	3%	2.784	1.47%
	10-10 mm		23%	2.764	1.46%
	Pasir		61%	2.573	1.43%
	0-5 mm		9%	2.726	1.37%
	Filler		4%	2.554	-
Aspal	Pen 60/70	Pertamina	8.2%	1.036	-
Plastik	PET	Limbah	2%, 4%, 6%, dan 8%	-	-

Tabel 5 Rekap hasil uji Marshall aspal plastik

Kadar Plastik (%)	Benda Uji Nomor	Variasi Kadar Aspal (%)	Parameter Marshall						
			Density (gr/cm3)	VIM	VMA	VFA	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)
			Spesifikasi						
				4% - 6%	>18%	>68%	>800 kg	>3 mm	>250 kg/mm
0%	1	8.20	2.307	3.24	21.41	84.85	1,579	3.80	416
0%	2	8.20	2.308	3.21	21.38	85.00	1,925	3.50	550
0%	3	8.20	2.236	6.23	23.84	73.88	1,745	3.30	529
Rata-rata			2.283	4.23	22.21	81.24	1,750	3.53	498
2%	1	8.20	2.241	6.00	23.66	74.62	2,050	3.00	683
2%	2	8.20	2.261	5.17	22.98	77.49	2,424	2.45	989
2%	3	8.20	2.094	12.18	28.67	57.51	3,102	2.70	1149
Rata-rata			2.199	7.79	25.10	69.87	2,525	2.72	941
4%	1	8.20	2.175	8.77	25.90	66.14	2,715	3.00	905
4%	2	8.20	2.187	8.28	25.50	67.54	2,285	1.20	1904
4%	3	8.20	2.188	8.23	25.47	67.67	2,493	2.70	923
Rata-rata			2.183	8.43	25.62	67.11	2,498	2.30	1244
6%	1	8.20	2.197	7.84	25.14	68.83	1,801	2.50	720
6%	2	8.20	2.212	7.21	24.63	70.74	1,939	1.40	1385
6%	3	8.20	2.229	6.49	24.05	73.00	2,327	3.60	646
Rata-rata			2.213	7.18	24.61	70.86	2,022	2.50	917
8%	1	8.20	2.253	5.51	23.25	76.31	2,632	2.30	1144
8%	2	8.20	2.177	8.69	25.83	66.38	2,424	1.70	1426
8%	3	8.20	2.203	7.59	24.94	69.58	2,341	2.20	1064
Rata-rata			2.211	7.26	24.68	70.76	2,465	2.07	1211

LAMPIRAN B

Gambar 1. Pengujian Agregat



Gambar 1.a Alat Analisa Saringan



Gambar 1.b Proses penimbangan agregat



Gambar 1.c Proses penimbangan piknometer + air



Gambar 1.d Proses penimbangan piknometer + air + benda uji



Gambar 1.e Kondisi agregat halus SSD

Gambar 2 Pengujian Aspal



Gambar 2.a Proses penimbangan piknometer + air



Gambar 2.b Proses penimbangan piknometer + air + benda uji



Gambar 2.c Proses pengujian Daktilitas Aspal



Gambar 2.d Benda uji pengujian Daktilitas Aspal



Gambar 2.e Benda uji pengujian Titik Lembek Aspal

Gambar 3 Pembuatan Benda Uji



Gambar 3.a Proses memanaskan agregat



Gambar 3.b Agregat yang telah ditimbang sesuai variasi



Gambar 3.c Proses penimbangan berat benda uji kering 6%



Gambar 3.d Proses penimbangan berat benda uji kering 0%



Annisa Karismatika Sariang, lahir di Bangkalan, 1 September 1996, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Al-Amien 2002, SDN Banyuajuh 3 Kamal tahun 2008, SMPN 1 Kamal tahun 2011, dan SMAN 2 Bangkalan tahun 2014. Setelah lulus dari SMAN 2 Bangkalan, penulis diterima di program studi Diploma IV Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi ITS pada tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP 10111410000049. Total 8 semester dan 144 sks telah dijalani penulis hingga lulus dari program studi Diploma IV Teknik Sipil (Bangunan Transportasi) ini. Penulis juga pernah aktif di Tim RoboBot Barunastra ITS sebagai Official Team pada periode 2015-2016. Penulis sempat mengikuti Kerja Praktek di PT. WASKITA KARYA pada Proyek Pembangunan Tol KLBK.