

TESIS

KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN AC-WC MENGGUNAKAN MATERIAL KAMPAR DENGAN PENAMBAHAN LIMBAH PLASTIK PET (POLY ETHYLENE TEREPHTALATE)

Diajukan Guna Melengkapi Syarat

Dalam Mencapai Magister Teknik (M.T)



OLEH :

NAMA : MUHAMAR FAISAL
NOMOR MAHASISWA : 183 122 013
BIDANG KAJIAN UTAMA : GEOTEKNIK & JALAN RAYA

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU
2021**

**KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN AC-WC MENGGUNAKAN
MATERIAL KAMPAR DENGAN PENAMBAHAN LIMBAH PLASTIK
PET (POLY ETHYLENE TEREPHTALATE)**

Yang dipersiapkan dan disusun oleh


MUHAMAR FAISAL

NPM 183 122 013

Telah dipertahankan didepan Dewan Penguji
Pada Tanggal 30 Juli 2021
Dewan Penguji:

Pembimbing Utama

Penguji


Prof. Dr. Ir. H. Sugeng Wiyono, MMT


Dr. Elizar, ST., MT

Pembimbing Pendamping


Dr. Anas Puri, ST., MT

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh gelar Magister Teknik
Tanggal :




Dr. Elizar, ST., MT

Ketua Program Magister Teknik Sipil
Universitas Islam Riau

**LEMBAR PENGESAHAN
TESIS**

**KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN AC-WC MENGGUNAKAN
MATERIAL KAMPAR DENGAN PENAMBAHAN LIMBAH PLASTIK
PET (POLY ETHYLENE TEREPHTALATE)**

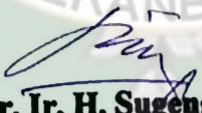
Yang dipersiapkan dan disusun oleh

MUHAMAR FAISAL
NPM 183 122 013

Program Studi : Magister Teknik Sipil
Bidang Kajian : Aspal

Telah dipertahankan didepan Dewan Penguji
Pada Tanggal 30 Juli 2021
Dan dinyatakan LULUS

DEWAN PENGUJI:
Ketua Penguji:


Prof. Dr. Ir. H. Sugeng Wiyono, MMT

Anggota Penguji I,


Dr. Anas Puri, ST., MT

Anggota Penguji II,


Dr. Elizar, ST., MT

Mengetahui
Direktur Program Pasca Sarjana Universitas Islam Riau



Prof. Dr. H. Yusri Munaf, SH., M.Hum



UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PROGRAM PASCASARJANA

Jalan Kaharuddin Nasution No. 113 Pekanbaru 28284 Riau
Telp. (+62) (761) 67-1717 - 70-17726 Fax. (+62) (761) 67-1717

NOMOR : 142/KPTS/PPS/2020

TENTANG PENUNJUKAN PEMBIMBING PENULISAN TESIS MAHASISWA PROGRAM MAGISTER (S2) TEKNIK SIPIL PPS UIR

DIREKTUR PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS ISLAM RIAU

- Ang : 1. Bahwa penulisan tesis merupakan tugas akhir dan salah satu syarat lagi mahasiswa dalam menyelesaikan studinya pada Program Magister (S2) Teknik Sipil PPS – UIR.
2. Bahwa dalam upaya meningkatkan mutu penulisan dan penyelesaian tesis, perlu ditunjuk pembimbing yang akan memberikan bimbingan kepada mahasiswa tersebut.
3. Bahwa nama – nama dosen yang ditetapkan sebagai pembimbing dalam Surat Keputusan ini dipandang mampu dan mempunyai kewenangan akademik dalam melakukan pembimbingan yang ditetapkan dengan Surat Keputusan Direktur Program Pascasarjana Universitas Islam Riau.

- Agat : 1. Undang – Undang Nomor : 12 Tahun 2012 Tentang : Pendidikan Tinggi
2. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor : 8 Tahun 2012 Tentang Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia
3. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor : 37 Tahun 2009 Tentang Dosen
4. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor : 66 Tahun 2010 Tentang Pengelolaan dan Penyelenggaraan Pendidikan
5. Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor : 63 Tahun 2009 Tentang Sistem Penjamin Mutu Pendidikan
6. Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia Nomor : 49 Tahun 2014 Tentang Standar Nasional Pendidikan Tinggi
7. Statuta Universitas Islam Riau Tahun 2018
8. Peraturan Universitas Islam Riau Tahun Nomor : 001 Tahun 2018 Tentang Ketentuan Akademik Bidang Pendidikan Universitas Islam Riau

MEMUTUSKAN

1. Menunjuk

No	Nama	Jabatan Fungsional	Bertugas Sebagai
1	Prof. Dr. Ir. H. Sugeng Wiyono, MMT	Guru Besar	Pembimbing I
2	Dr. Anas Puri. ST., MT	Lektor Kepala	Pembimbing II

Untuk Penulisan Tesis Mahasiswa :

Nama : MUHAMAR FAISAL
 N P M : 183122013
 Program Studi : MAGISTER TEKNIK SIPIL
 Judul Proposal Tesis : KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN AC-WC MENGGUNAKAN MATERIAL TANGUN ROKAN HULU DENGAN PENAMBAHAN LIMBAH PLASTIK PETE (Poly Ethylene Terephthalate)

2. Tugas – tugas pembimbing adalah memberikan bimbingan kepada mahasiswa Program Magister (S2) Teknik Sipil dalam penulisan tesis.
3. Dalam pelaksanaan bimbingan supaya diperhatikan usul dan saran dari forum seminar proposal dan ketentuan penulisan tesis sesuai dengan Buku Pedoman Program Magister (S2) Teknik Sipil.
4. Kepada yang bersangkutan diberikan honorarium, sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Riau.
5. Keputusan ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan dengan ketentuan bila terdapat kekeliruan segera ditinjau kembali.
- KUTIPAN** : Disampaikan kepada yang bersangkutan untuk dapat diketahui dan diindahkan.

DITETAPKAN DI : PEKANBARU
 PADA TANGGAL : 31 Maret 2020


 Besta Saipin Bahri., M.Ec.
 NPK. 921102199

usan : disampaikan kepada :

1. Bapak Rektor Universitas Islam Riau di Pekanbaru
 2. Ketua Program Magister (S2) Teknik Sipil PPS UIR di Pekanbaru

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :



PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS ISLAM RIAU

Jalan KH. Nasution No. 113 Gedung B Pascasarjana Universitas Islam Riau
Marpoyan Damai, Pekanbaru, Riau

SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT

Nomor: 123/A-UIR/5-PPs/2021

Program Pascasarjana Universitas Islam Riau menerangkan:

Nama : MUHAMAR FAISAL
NPM : 183122013
Program Studi : Magister Teknik Sipil

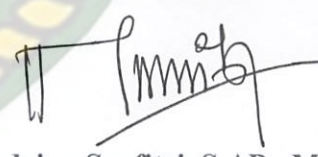
Telah melalui proses pemeriksaan kemiripan karya ilmiah (tesis) menggunakan aplikasi *Turnitin* pada tanggal 03 Juli 2021 dan dinyatakan memenuhi syarat batas maksimal tingkat kemiripan tidak melebihi 30 % (tiga puluh persen).

Demikian surat keterangan bebas plagiat ini dibuat sesuai dengan keadaan sebenarnya, agar dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Mengetahui
Ketua Prodi. Magister Teknik Sipil


Dr. Elizar, S.T., M.T.

Pekanbaru, 03 Juli 2021
Staf Pemeriksa


Indrian Syafitri, S.AP., M.Si.

Lampiran :

- Turnitin Originality Report
- Arsip *Syafitri_ind05*

Turnitin Originality Report

Processed on: 12-Aug-2021 11:12 WIB
 ID: 1630492304
 Word Count: 11353
 Submitted: 1

Similarity Index	Similarity by Source
27%	Internet Sources: 76%
	Publications: 8%
	Student Papers: 14%

KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN AC-WC MENGGUNAKAN MATERIAL KAMPAR DENGAN PENAMBAHAN LIMBAH PLASTIK PETE (POLY ETHYLENE TEREPHTALATE) By Muhamar Faisal

6% match (Internet from 09-Jun-2021)

<http://repositori.umsu.ac.id/xmlui/bitstream/handle/123456789/14818/Styrofoam%20AC-BC%20%28Nauval%20Rizky%201607210160%29.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

4% match (Internet from 14-May-2019)

<https://id.scribd.com/doc/293506751/T-A-analisis-komponen-doc>

2% match (Internet from 06-Oct-2020)

<https://imsippoliban.files.wordpress.com/2016/03/rsni-m-01-2003-metode-pengujian-campuran-beraspal-panas-dengan-alat-marshall.pdf>

2% match (Internet from 16-Jan-2021)

<http://jurnal.darmaagung.ac.id/index.php/tekniksipi/article/download/635/548/>

2% match (Internet from 03-Jun-2021)

<https://docplayer.info/182693957-Karakteristik-aspal-modifikasi-dengan-penambahan-limbah-botol-plastik-polyethylene-terephthalate-pet.html>

1% match (Internet from 29-Dec-2019)

<https://imsippoliban.files.wordpress.com/2016/03/sni-06-2489-1991-metode-pengujian-campuran-aspal-dengan-alat-marshall.pdf>

1% match (Internet from 09-Feb-2020)

<https://www.scribd.com/doc/236868783/Spesifikasi-Campuran-Aspal-Panas>

1% match (Internet from 19-May-2020)

<https://www.scribd.com/document/361299635/Laporan-Super-Fix>

1% match (student papers from 31-Jul-2019)

Submitted to Sriwijaya University on 2019-07-31

1% match (Internet from 17-Jun-2021)

<http://e-journal.polnes.ac.id/index.php/jnersia/article/download/563/375>

1% match (Internet from 04-Apr-2021)

<https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/download/1485/1245>

1% match (Internet from 31-May-2021)

<http://download.garuda.ristekdktl.go.id/article.php?article=1437998&title=PENGARUH+PENAMBAHAN+PLASTIK+PET+POLYETHYLENE+TEREPHTHALATE+TERHADAP+KARAKTERISTIK+CAMPURAN+LASTON+AC+WC+DI+LABORATORIUM&val=4146>

1% match (Internet from 07-Jun-2021)

<https://core.ac.uk/download/pdf/276546162.pdf>

1% match (Internet from 04-Nov-2020)

<http://jurnal.upnyk.ac.id/index.php/eksergi/article/download/2747/pdf>

1% match (Internet from 07-Dec-2020)

<http://journals.ukitoraja.ac.id/index.php/dynamicsaint/article/download/886/705/>

1% match (Internet from 23-Oct-2020)

<https://text-id.123dok.com/document/6qm9p97y-pengaruh-jumlah-pemadatan-terhadap-parameter-uji-marshall-pada-campuran-asphalt-treated-base-atb-menurut-spesifikasi-bina-marga-2010-rev-2.html>

1% match (Internet from 24-Apr-2021)

<http://repositori.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/9971/120404038.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

1% match (Internet from 31-Jan-2021)

<https://sinta.unud.ac.id/uploads/wisuda/1104105106-3-3%20bab%202.pdf>

KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN AC-WC MENGGUNAKAN MATERIAL KAMPAR DENGAN PENAMBAHAN LIMBAH PLASTIK PETE (POLY ETHYLENE TEREPHTALATE) Tesis Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Dalam Mencapai Derajat Magister Teknik Oleh : MUHAMAR FAISAL NPM. 183122013 Diajukan kepada : PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS ISLAM RIAU PEKANBARU 2021 | ABSTRAK KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN AC-WC MENGGUNAKAN MATERIAL KAMPAR DENGAN PENAMBAHAN LIMBAH PLASTIK PETE (POLY ETHYLENE TEREPHTALATE) Oleh : Muhamar Faisal NPM : 183122013 Pemerintah melalui Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat selalu berusaha melakukan inovasi dan penelitian bagaimana cara meningkatkan umur layanan jalan. Salah satu caranya dengan memanfaatkan limbah plastik jenis polyethylene sebagai bahan tambah untuk campuran aspal pada perkerasan lentur (flexible pavement). Hal ini juga sebagai upaya dari pemerintah didalam mengurangi limbah plastik. Penelitian dan pengujian di dalam tesis ini bertujuan untuk mengetahui Karakteristik Marshall penggunaan limbah plastik PETE dalam campuran lapis aspal beton (Laston) AC-WC. Bahan aspal yang dipakai adalah jenis aspal keras penetrasi 40/50 type PG76 yang di campur limbah plastik PETE bekas botol minuman. Ukuran potongan plastik yang di gunakan adalah 0,5 cm x 15 cm. Metode pencampuran adalah dengan cara basah dan material yang di pakai bersumber dari Kampar. Dari pengujian Karakteristik Marshall didapatkan hasil bahwa pencampuran limbah plastik PETE dengan aspal beton AC-WC penetrasi 40/50 type PG76

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Pekanbaru, Juli 2021



MUHAMAR FAISAL

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillah Rabbil 'Alamin. Bersyukur kepada Allah penulis ucapkan sehingga dapat menyelesaikan tesis dengan judul Karakteristik Marshall Campuran AC-WC Menggunakan Material Kampar dengan Penambahan Limbah Plastik PET (Poly Ethylene Terephtalate). Tesis ini merupakan syarat untuk mendapatkan gelar Magister Teknik Sipil di Universitas Islam Riau.

Penelitian tesis ini dilakukan untuk mengetahui kadar plastik PETE yang ideal dalam campuran laston AC-WC menggunakan aspal keras penetrasi 40/50 type PG76 di tinjau dari karakteristik marshall. Metode yang digunakan dengan pencampuran basah.

Penulis dengan segala kerendahan hati menyadari bahwa penulisan tesis ini belum sempurna sehingga saran dan masukan yang bermanfaat untuk kesempurnaan tesis ini sangat penulis harapkan.

Pasirpengaraian, Juli 2021

MUHAMAR FAISAL

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillah Rabbil 'Alamin. Bersyukur kepada Allah penulis ucapkan sehingga dapat menyelesaikan tesis dengan judul Karakteristik Marshall Campuran AC-WC Menggunakan Material Kampar dengan Penambahan Limbah Plastik PET (Poly Ethylene Terephtalate). Tesis ini merupakan syarat untuk mendapatkan gelar Magister Teknik Sipil di Universitas Islam Riau.

Dalam pelaksanaan penulisan tesis ini penulis telah banyak memperoleh arahan, bimbingan dan bantuan dari komisi pembimbing. Untuk itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sangat tulus kepada Bapak **Prof. Dr. Ir. H. Sugeng Wiyono, MMT** sebagai pembimbing utama dan kepada Bapak **Dr. Anas Puri, ST.,MT** sebagai pembimbing pendamping.

Selanjutnya, pada kesempatan ini penulis juga menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Syafrinaldi, SH, MCL, selaku Rektor Universitas Islam Riau;
2. Bapak Prof. Dr. H. Yusri Munaf, S.H.,M.Hum, selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Islam Riau;
3. Ibu Dr. Elizar, ST.,MT, selaku Ketua Prodi Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Islam Riau sekaligus anggota penguji II yang telah memberikan arahan dan masukan untuk penyempurnaan penyusunan tesis ini;

4. Bapak Prof. Dr. Ir. H.Sugeng Wiyono, MMT, selaku Guru Besar Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Islam Riau sekaligus Pembimbing I dan ketua penguji yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan tesis ini;
5. Bapak Dr. Anas Puri, ST.,MT, selaku Dosen Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Islam Riau sekaligus Pembimbing II dan anggota penguji I yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan tesis ini;
6. Bapak/Ibu Dosen beserta staff di lingkungan Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Islam Riau, Pak Mastur yang telah banyak membantu dalam hal administrasi;
7. Kedua orang tua, Ibunda Hj. Suraida dan Ayahanda H.Rustam Zein, beserta istri penulis Yurnalis, Ananda Riffat Filzah Hadhim dan Azzam Filzah Abqari yang selalu mendoakan, dukungan dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tesis ini;
8. Kawan-kawan angkatan 2019 Program Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Islam Riau, Bapak Riduan, ST, Bapak Ronald Porwadi, ST dan Bapak Khairil Anwar, ST yang telah banyak membantu selama perkuliahan berlangsung;
9. Bapak Gezi Indra, ST yang telah banyak memberikan suport, dukungan dan kontribusi didalam proses penyelesaian perkuliahan ini;
10. Dan semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan dan penyelesaian tesis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Demikian ucapan

terimakasih ini disampaikan. Dengan segala kerendahan hati penulis mohon maaf atas segala kekhilafan, keterbatasan serta kekurangan dalam penulisan tesis ini

Pasirpengaraian, Juli 2021

MUHAMAR FAISAL



Dokumen ini adalah Arsip Milik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	ix
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xii
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	4
2.1 Penelitian Terdahulu	4
2.2. Uji Coba Penggunaan Limbah Plastik Oleh Pemerintah Indonesia	9
2.3. Keaslian Penelitian.....	10
BAB III LANDASAN TEORI	11
3.1. Perkerasan Lentur	11
3.2. Agregat.....	15

3.3. Bahan Pengisi (<i>Filler</i>) Untuk Campuran Beraspal.....	18
3.4. Aspal	19
3.5. Plastik PET (<i>Polythylene Terephthalate</i>).....	20
3.6. Cara Pemanfaatan Plastik Pada Perkerasan Jalan.....	21
3.7. Karakteristik Marshall.....	22
3.7.1. Stabilitas (<i>Stability</i>).....	23
3.7.2. Pelelehan (<i>Flow</i>).....	24
3.7.3. Rongga dalam agregat (<i>Void in Mineral Agregate</i>)	26
3.7.4. Rongga dalam campuran (<i>Void In The Mix</i>)	27
3.7.5. Rongga terisi aspal (<i>Voids Filled Bitumen, VFB</i>).....	28
3.7.6. Kepadatan membal (<i>Density Refusal</i>)	29
3.7.7. Marshall Quotient (MQ)	30
BAB IV METODE PENELITIAN	31
4.1. Umum.....	31
4.2. Lokasi Penelitian.....	31
4.3. Bahan Penelitian	31
4.4. Alat Penelitian	31
4.5. Rancangan Campuran	32
4.6. Tahapan Pelaksanaan Penelitian.....	32
4.7. Cara Analisa Data	36
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	37
5.1. Umum.....	37

5.2. Gradasi Gabungan.....	38
5.3. Penetrasi	39
5.4. Daktilitas	42
5.5. Analisis Nilai Marshall	44
5.5.1. Stabilitas (<i>Stability</i>).....	44
5.5.2. Pelelehan (<i>Flow</i>).....	48
5.5.3. Rongga dalam agregat (<i>Void in Mineral Agregate</i>)	50
5.5.4. Rongga dalam campuran (<i>Void In The Mix, VIM</i>)	53
5.5.5. Rongga terisi aspal (<i>Void Filled Bitumen, VFB</i>).....	55
5.5.6. Kepadatan Membal (<i>Density Refusal</i>)	58
5.5.7. Marshall Quotient (MQ)	60
5.6. Hasil Perhitungan Gabungan Nilai Karakteristik Marshall.....	62
5.7. Perbandingan dengan Percobaan Terdahulu	63
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	65
6.1. Kesimpulan.....	67
6.2. Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1	Ketentuan Agregat Kasar	17
Tabel 3.2.	Ketentuan Agregat Halus	18
Tabel 3.3.	Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal Jenis Laston (WC).....	19
Tabel 3.4.	Ketentuan Sifat Campuran Laston Modifikasi (AC Mod).....	22
Tabel 3.5	Rasio Korelasi Stabilitas	23
Tabel 5.1.	Hasil Perhitungan Pengujian Abrasi Material Agregat terhadap Spesifikasi Teknis 2018.....	37
Tabel 5.2.	Hasil Perhitungan Gradasi Agregat terhadap Spesifikasi Teknis 2018.....	38
Tabel 5.3.	Hasil Perhitungan Penetrasi setiap Penambahan Kadar Plastik PET terhadap Spesifikasi Teknis 2018.....	40
Tabel 5.4	Hasil Perhitungan Daktilitas untuk Setiap Kadar Penambahan Plastik PET terhadap Spesifikasi Teknis 2018.....	42
Tabel 5.5.	Hasil Perhitungan Stabilitas Marshall untuk setiap Kadar Penambahan Plastik PET terhadap Spesifikasi Teknis 2018	45
Tabel 5.6.	Hasil Perhitungan Pelelehan (<i>Flow</i>) untuk setiap Kadar Penambahan Plastik PET terhadap Spesifikasi Teknis 2018	48
Tabel 5.7.	Hasil Perhitungan Rongga dalam Agregat (VMA) untuk setiap Kadar Penambahan Plastik PET terhadap Spesifikasi Teknis 2018	50

Tabel 5.8. Hasil Perhitungan Rongga dalam campuran (VIM) untuk setiap Kadar Penambahan Plastik PET terhadap Spesifikasi Teknis 2018	53
Tabel 5.9. Hasil Perhitungan Rongga Terisi Aspal (VFB) untuk setiap Kadar Penambahan Plastik PET terhadap Spesifikasi Teknis 2018	56
Tabel 5.10. Hasil Perhitungan Kepadatan Membal (<i>Density Refusal</i>) untuk setiap Kadar Penambahan Plastik PET terhadap Spesifikasi Teknis 2018	58
Tabel 5.11 Hasil Perhitungan Marshall Quotient untuk setiap Kadar Penambahan Plastik PET terhadap Spesifikasi Teknis 2018	60
Tabel 5.12 Hasil Perhitungan Gabungan Nilai Karakteristik Marshall terhadap Spesifikasi Teknis 2018	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Susunan Lapis Perkerasan Jalan	11
Gambar 4.1	Tahapan Pelaksanaan Penelitian	33
Gambar 4.2	Uji Marshall dan Flow	36
Gambar 5.1	Hasil Gradasi Gabungan	39
Gambar 5.2	Pengujian Penetrasi Aspal + Plastik PET	39
Gambar.5.3.	Hubungan Kadar Plastik PET dan Nilai Penetrasi	41
Gambar 5.4	Pengujian Daktilitas	42
Gambar 5.5	Hubungan Kadar Plastik PET dan Nilai Daktilitas	44
Gambar 5.6	Pengujian Stabilitas	45
Gambar 5.7	Pencampuran Plastik PET dengan Aspal Penetrasi 40/50 PG76	46
Gambar 5.8	Hubungan Kadar Plastik PET dan Nilai Stabilitas Marshall	47
Gambar 5.9	Hubungan Kadar Plastik PET dan Nilai Pelelehan (Flow)	49
Gambar 5.10	Hubungan Kadar Plastik PET dan Nilai Rongga Dalam Agregat (VMA)	52
Gambar 5.11	Hubungan Kadar Plastik PET dan Nilai Rongga Dalam Campuran (VIM)	55
Gambar 5.12	Hubungan Kadar Plastik PET dan Nilai Rongga Terisi Aspal (VFB)	57
Gambar 5.13	Hubungan Kadar Plastik PET dan Nilai Density	59
Gambar 5.15	Hubungan Nilai Marshall Quotient Dengan Penambahan Kadar Plastik	61

ABSTRAK

KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN AC-WC MENGUNAKAN MATERIAL KAMPAR DENGAN PENAMBAHAN LIMBAH PLASTIK PETE (POLY ETHYLENE TEREPHTALATE)

Oleh :
Muhamar Faisal
NPM : 183122013

Pemerintah melalui Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat selalu berusaha melakukan inovasi dan penelitian bagaimana cara meningkatkan umur layanan jalan. Salah satu caranya dengan memanfaatkan limbah plastik jenis *polyethylene* sebagai bahan tambah untuk campuran aspal pada perkerasan lentur (*flexible pavement*). Hal ini juga sebagai upaya dari pemerintah didalam mengurangi limbah plastik. Penelitian tesis ini bertujuan untuk mengetahui Karakteristik *Marshall* campuran Laston AC-WC menggunakan agregat kasar dan halus yang bersumber dari Kampar. Metode pencampuran yang digunakan adalah dengan cara basah dengan pengujian di laboratorium. Bahan aspal yang digunakan jenis aspal keras penetrasi 40/50 *type* PG76 yang di campur limbah plastik PET bekas botol minuman. Ukuran potongan plastik yang di gunakan adalah 0,5 cm x 15 cm.

Hasil pengujian Karakteristik *Marshall* secara keseluruhan kadar 3% penambahan plastik PET adalah yang paling ideal dan sesuai dengan ketentuan spesifikasi teknis 2018. Dengan nilai stabilitas 2656 kg, kepadatan membal (*density refusal*) 2.305 g/cm³, dan *Marshall Quotient* (MQ) 781.2 kg/mm. Sementara pelelehan (*flow*) 3.40 mm, rongga dalam agregat (VMA) 15.25 %, rongga dalam campuran (VIM) 4.85 %, rongga terisi aspal (VFB) 68.19 %.

Penggunaan limbah plastik jenis PET dapat digunakan sebagai bahan tambah dalam campuran laston AC-WC dan membantu pemerintah mengurangi masalah pengendalian sampah plastik.

Kata kunci : aspal, penetrasi, 40/50, *type*, PG76, plastik, PETE, karakteristik, *marshall*, VMA, VIM, VFB.

ABSTRACT

MARSHALL CHARACTERISTICS OF AC-WC USING KAMPAR MATERIALS WITH ADDITIONAL PET PLASTIC WASTE (POLY ETHYLENE TEREPHTALATE)

By :
Muhamar Faisal
NPM : 183122013

The government through the Ministry of Public Works and Public Housing is always trying to innovate and research how to increase the service life of roads. One way to do this is by utilizing polyethylene type plastic waste as an added material for asphalt mixtures on flexible pavements. This is also an effort from the government in reducing plastic waste. The research is aimed to determine the Marshall characteristics of the Laston AC-WC mixture using coarse and fine aggregates sourced from Kampar. The mixing method used is a wet method with laboratory testing. The asphalt material used is 40/50 penetration hard asphalt type PG76 which is mixed with PET plastic waste from used drink bottles. The size of the plastic pieces used is 0.5 cm x 15 cm.

The results of the Marshall Characteristics test as a whole, the content of 3% addition of PET plastic is the most ideal and in accordance with the provisions of the 2018 technical specifications. With a stability value of 2656 kg, refusal density 2.305 g/cm³, and Marshall Quotient (MQ) 781.2 kg/ mm. While melting (flow) 3.40 mm, voids in aggregate (VMA) 15.25%, voids in mixture (VIM) 4.85%, voids filled with asphalt (VFB) 68.19%.

The use of PET type plastic waste can be used as an additive in the AC-WC mixture and help the government reduce the problem of controlling plastic waste.

Keywords : asphalt, penetration, 40/50, type, PG76, plastic, PET, characteristic, marshall, VMA, VIM, VFB.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tugas pemerintah pusat dan pemerintah daerah salah satunya adalah melakukan penelitian, pengembangan teknologi pengurangan dan penanganan sampah (UU, 2018). Oleh karena itu sebagai mahasiswa Program Magister Teknik Sipil dengan Bidang Kajian Utama (BKU) Geoteknik dan Jalan Raya, maka perlu mempertimbangkan pemakaian sampah plastik tersebut untuk di kombinasikan di dalam teknologi jalan. Karena infrastruktur jalan di Indonesia mempunyai peran yang penting dalam system transportasi nasional dengan melayani sekitar 92 % angkutan penumpang dan 90 % angkutan barang pada jaringan jalan yang ada (Wiyono.S, 2018).

Selain itu, pemanfaatan limbah plastik PET didalam penelitian tesis ini merupakan salah satu upaya untuk mendukung program pemerintah didalam mengurangi limbah plastik. Sehingga diharapkan Indonesia bisa keluar dari peringkat 2 penghasil limbah plastik terbesar di dunia setelah Tiongkok (Jambeck, 2015)

Pemanfaatan limbah plastik PET (Poly Ethylene Terephtalate) ini dikhususkan dicampur pemakaiannya dengan lapis aspal beton AC-WC (Asphalt Concrete – Wearing Course). Hal ini karena lapis aspal beton (Laston) adalah lapisan aspal yang digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas berat. Selain itu, Beton aspal

untuk lapisan aus (wearing course) juga merupakan lapisan perkerasan yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan (Sukirman.S, 2016).

Pemanfaatan limbah plastik jenis PET pada penelitian ini terbatas pada plastik dengan ukuran potongan 0,5 cm x 15 cm. Dimana untuk mendapatkan ukuran tersebut diperlukan alat pencacah yang dapat memotong plastik hingga mencapai ukuran yang dipersyaratkan.

1.2. Rumusan Masalah

Penambahan limbah plastik PET pada Laston AC- WC ini menggunakan agregat yang berasal dari Kampar. Dimana agregat yang bersumber dari Kampar banyak di gunakan untuk kegiatan konstruksi bangunan maupun konstruksi jalan pada kegiatan yang ada didalam Kabupaten Kampar maupun Kota Pekanbaru.

Sehingga dengan adanya penelitian ini diharapkan akan menunjukkan hasil yang berbeda dari berbagai sumber material yang sudah ada dan untuk mengetahui apakah limbah plastik PET dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah pada campuran laston AC-WC dengan tetap memenuhi persyaratan yang tercantum di dalam Spesifikasi Teknis Bina Marga 2018.

Sebagai pokok bahasan dalam penelitian ini adalah membandingkan karakteristik Marshall terutama stabilitas, pelelehan, VMA, VIM, VFB, kepadatan membal dan MQ pada Laston menggunakan bahan tambahan plastik jenis PET menggunakan material yang berasal dari Kampar pada kadar penambahan tertentu.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk :

1. Mengetahui pengaruh penggunaan limbah plastik PET dengan ukuran pemotongan 0,5 cm x 15 cm dalam campuran lapis aspal beton (*Laston*) AC-WC dengan menggunakan material yang bersumber dari Kampar terhadap Karakteristik Marshall berdasarkan Spesifikasi Teknis 2018.
2. Pemanfaatan limbah plastik PET sebagai campuran pada laston lapis aus (AC-WC).

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat diketahui pengaruh dari penggunaan limbah plastik dengan dimensi pemotongan 0,5 cm x 15 cm dalam campuran lapis aspal beton (*Laston*) AC-WC menggunakan material Kampar sehingga dapat menjadi bahan tambah (*aditif*) bagi penggunaan limbah plastik pada campuran lapis aspal beton.
2. Membantu pemerintah di dalam mengurangi jumlah sampah plastik

1.5. Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah dalam penelitian ini antara lain :

1. Jenis plastik yang digunakan adalah plastik PET bekas botol minuman merek Aqua dengan ukuran pemotongan 0,5 cm x 15 cm. Bagian yang datar saja yang di potong dan dipakai sementara bagian tutup atas dan bawah tidak di gunakan.
2. Sumber agregat kasar dan halus adalah dari Kampar
3. Penelitian dilakukan pada suhu standar pekerjaan aspal berdasarkan Spesifikasi Teknis Bina Marga 2018.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Pada penyusunan usulan penelitian untuk tesis ini penulis menggunakan literatur yang pernah dilakukan, baik itu kepustakaan penelitian meliputi laporan penelitian sebelumnya, jurnal, proceeding maupun kepustakaan konseptual yaitu ide-ide atau teori, artikel atau buku yang ditulis oleh para ahli yang berkaitan dengan pemanfaatan limbah plastik PET terhadap karakteristik Marshall. Adapun penelitian terdahulu yang menjadi referensi dalam penelitian ini yaitu :

1. Nasution, dkk, (2017) melakukan penelitian yang dipublikasikan pada tahun 2017 dalam skripsi dengan judul “*Pengaruh Penambahan Plastik Pet (Polyethylene Terephthalate) Terhadap Karakteristik Campuran Laston Ac -Wc Di Laboratorium*”. Dari hasil pengujian diperoleh hasil dengan adanya penambahan PET terhadap campuran mampu meningkatkan nilai stabilitas dan flow. Nilai stabilitas tanpa adanya penambahan PET sebesar 905,4 kg/cm dan dengan adanya penambahan PET nilai stabilitas menjadi 1201,3 kg/cm sedangkan nilai flow tanpa adanya penambahan PET sebesar 3,36 mm dan dengan penambahan PET nilai flow 3,96 mm. Nilai stabilitas dinamis juga meningkat dengan adanya penambahan PET dan memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu 3315,8 lintasan/mm (≥ 2500 lintasan/mm) dengan kecepatan deformasi sebesar 0,0127

mm/menit. Penelitian ini menunjukkan dengan adanya penambahan PET mampu meningkatkan kemampuan campuran aspal.

2. Fikri, dkk, (2017) telah melakukan penelitian yang dipublikasikan pada tahun 2017 dalam prosiding dengan judul “*Karakteristik Aspal Modifikasi dengan penambahan Limbah Botol Plastik Polyethylene Terephthalate (PET)*”. Penelitian ini menggunakan metode wet process sebagai bahan tambah dalam ke dalam aspal. Kadar PET yang akan diteliti terhadap karakteristik aspal modifikasi dengan variasi kadar yaitu 0%, 3%, 6%, 9% dan 12% dari berat aspal yang digunakan dengan menggunakan aspal penetrasi 60/70. Pengujian yang dilakukan yaitu uji penetrasi, daktilitas, titik lembek, titik nyala dan viskositas kinematik. Dari hasil pengujian yang dilakukan, bahwa penggunaan aspal modifikasi optimum terdapat pada kadar PET 9%. Hal ini disebabkan pada aspal modifikasi kadar PET 12% didapat hasil pengujian penetrasi aspal modifikasi tidak memenuhi persyaratan sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Divisi 6 revisi 3. Penambahan kadar PET menunjukkan nilai penetrasi cenderung turun dan penurunan yang terbesar terjadi pada kadar PET 12% dan tidak masuk ke dalam Spesifikasi Teknis Bina Marga 2010 revisi 3. Hal ini dikarenakan persyaratan penetrasi aspal modifikasi minimal 40. Hal ini mengindikasikan aspal akan semakin keras dengan meningkatnya persentase plastik dalam aspal. Penurunan nilai penetrasi ini sesuai dengan sifat plastik PET yang mampu untuk menurunkan nilai penetrasi dari aspal. Dikemukakan bahwa terdapat korelasi negatif antara persentase plastik PET dengan nilai daktilitas aspal modifikasi. Hal ini terjadi karena dengan penambahan

plastik PET yang semakin meningkat, maka akan menyebabkan nilai daktilitas yang semakin menurun sehingga menyebabkan penurunan kekenyalan yang dimiliki oleh aspal. Kadar aspal modifikasi plastik PET memiliki nilai daktilitas terendah dengan kadar 12% yakni 109 cm. Aspal modifikasi dengan campuran polimer berupa plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) akan memiliki titik lembek yang lebih tinggi pada jumlah persentase plastik yang lebih besar. Apabila suhu titik lembek suatu bahan terlalu tinggi, maka aspal tersebut kurang peka terhadap suhu, dan aspal tersebut kurang elastis. Aplikasi suhu titik lembek di lapangan adalah sebagai acuan dalam pelaksanaan pencampuran, penghamparan dan pemadatan aspal. Properties pengujian titik lembek aspal dengan bahan tambah dan tanpa bahan tambah PET telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan yakni $\geq 48^{\circ}\text{C}$ (persyaratan Aspal Pen 60/70) sedangkan untuk aspal modifikasi menggunakan PET memiliki nilai min 54°C sesuai dengan Spesifikasi Teknis Bina Marga 2010 revisi 3.

3. Erita, dkk, (2019) telah melakukan penelitian yang dipublikasikan dalam Jurnal dengan judul "*Pengaruh Pencampuran Limbah Plastik Pet (Polyethylene Terephthalate) Terhadap Nilai Marshall Aspal Pori*". Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70. Metode yang digunakan mengacu pada Australian Asphalt Pavement Association (AAPA) 2004, dengan menggunakan variasi kadar aspal 4%, 4.5%, 5%, 5.5% dan 6%, sebanyak 5 sampel untuk setiap kadarnya agar diperoleh KAO. Kemudian dari KAO tersebut dibuat lagi sample yang dicampurkan dengan PET sebanyak 2%, 4% dan 6% dari berat aspal. Hasilnya

terjadi penurunan nilai VIM dan FLOW campuran seiring dengan peningkatan persentase kadar PET, tetapi untuk nilai stabilitas dan MQ cenderung mengalami peningkatan.

4. Alwi, dkk, (2020) telah melakukan penelitian yang dipublikasikan dalam Jurnal dengan judul “*Pengaruh Penggunaan Plastik PET (Polyethylene Terephthalate) Pada Campuran Aspal Ac-Wc Terhadap Karakteristik Marshall*”. Penelitian ini dilakukan untuk bahan tambah yang dapat meningkatkan kekuatan dan membantu perbaikan konstruksi jalan aspal. Bahan tambah yang digunakan adalah sampah botol plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan material yang digunakan aspal pen 60/70 dan jenis filler semen dan abu batu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai karakteristik Marshall pada campuran aspal Laston AC-WC dengan penambahan PET dengan kadar 1%, 1.5%, 2%, 2.5%, dan 3% dengan metode cara kering (*dry process*) dan dihitung dari berat aspal pada kadar aspal optimum (KAO). Hasil penelitian menunjukkan dengan cara kering karakteristik Marshall bahwa nilai stabilitas, VIM, VFB dan MQ dengan penambahan kadar 1% sampai 3% tidak memenuhi syarat Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan 2018 Divisi 6 Tentang Perkerasan Aspal sedangkan nilai flow dan VIM memenuhi syarat yang ditetapkan. Penambahan PET dengan kadar 2% merupakan kadar yang dapat digunakan dalam campuran beraspal, karena telah memenuhi syarat sesuai ketentuan.
5. Debataraja dan Sihite (2020) telah melakukan penelitian yang dipublikasikan dalam Jurnal dengan judul “*Pengaruh Penambahan Plastik Bekas Tipe*

Polyethylene Terephthalate (PET) Terhadap Daya Lekat Campuran Laston Lapis Ac-Wc". Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70. Pencampuran plastik dilakukan dengan cara kering yang kadar plastiknya sebesar 5%, 10% 15% dan 30% dari berat kadar aspal optimum. Dari pengujian Marshall yang dilakukan dengan penambahan limbah plastik PET nilai Stabilitas pada kadar 5% sebesar 2005,967 kg mengalami kenaikan dibandingkan tidak adanya tambahan dari limbah plastik dengan catatan angka sebesar 1961,534 kg. Nilai Density dengan penambahan plastik pada kadar 5% sebesar 2,355% mengalami penurunan dibandingkan di tiadaknya campuran penambahan dari plastik ini dengan nilai sebesar 2,359%. Nilai Flow dengan penambahan plastik pada kadar 5% sebesar 3,200% mengalami peningkatan dibandingkan tanpa penambahan plastik dengan nilai sebesar 3,100%. Nilai VIM dengan penambahan plastik pada kadar 5% sebesar 4,453% dibandingkan tanpa di lakukannya unsur penambahan dari limbah plastik yang sulit terurai ini dengan nilai sebesar 4,297%. Nilai VFA dengan penambahan plastik pada kadar 5% sebesar 73,493% mengalami penurunan dibandingkan dengan tidak ada penambahan plastik sejumlah 74,216%. Nilai VMA dengan penambahan plastik pada kadar 5% sebesar 16,801% mengalami peningkatan dibandingkan dengan tanpa penambahan plastik dengan nilai sbesar 16,665%. Nilai MQ dengan penambahan plastik pada kadar 5% sebesar 626,865 kg/mm mengalami penurunan dibandingkan dengan tanpa penambahan plastik 632,753 kg/mm.

2.2. Uji coba penggunaan limbah plastik oleh pemerintah Indonesia

Pemakaian limbah plastik di dalam campuran aspal sebelumnya telah dilakukan oleh pemerintah Indonesia melalui Kementerian PUPR. Percobaan tersebut diantaranya :

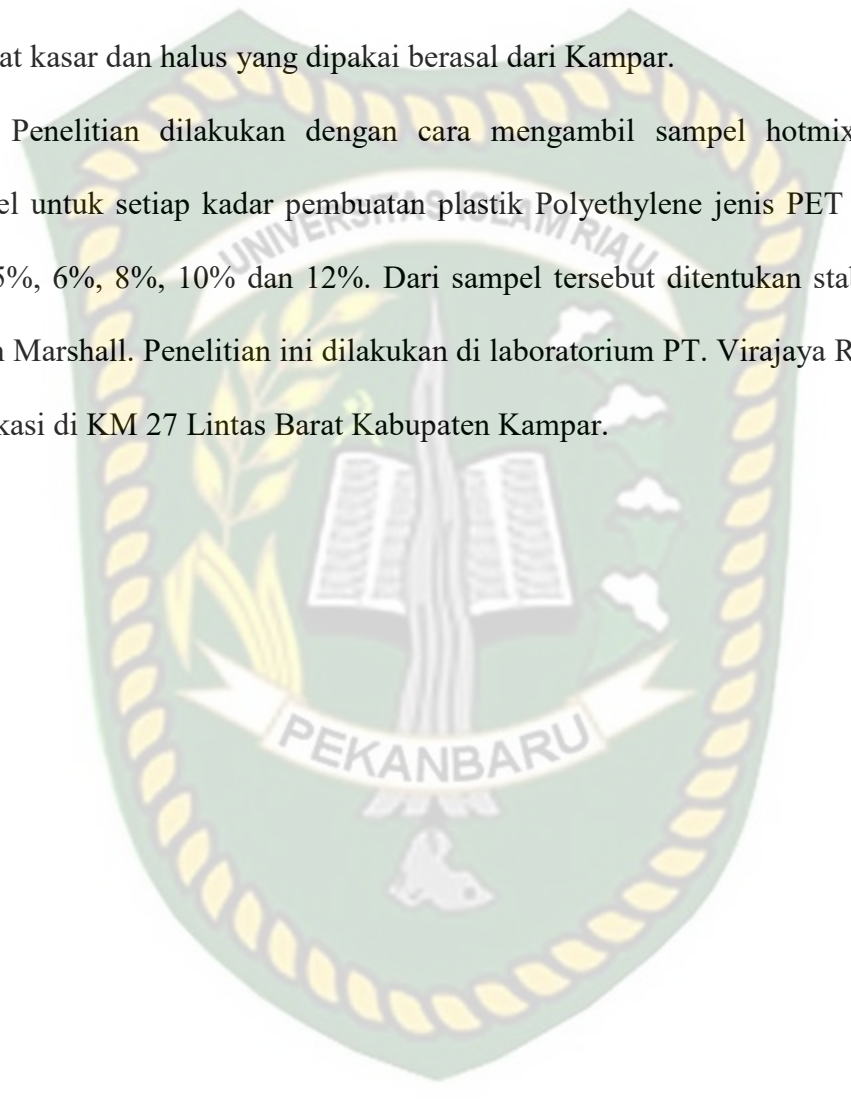
- a. Uji coba oleh Badan Penelitian dan Pengembangan (Balitbang) Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). Dari hasil uji coba diperoleh bahwa penggunaan aspal bercampur limbah plastik berdampak positif kepada karakteristik aspal beton.
- b. Uji Skala Penuh Penerapan Teknologi Aspal Limbah Plastik di Ruas Jalan Nasional Gempol – Bts. Kota Bangil (Km 35+700 – 36+800) oleh Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional VIII Surabaya dan Balitbang melalui Pusat Litbang Jalan dan Jembatan pada tahun 2017 dengan menggunakan limbah plastik kresek (LDPE). Hasil uji skala penuh ini kemudian dipublikasikan dengan judul “*Penerapan Skala Penuh Teknologi Aspal Limbah Plastik*” oleh BALITBANG dan BBPJK VIII Surabaya. Uji skala penuh ini menggunakan persentase penambahan plastik yang digunakan antara 4 sampai dengan 6% terhadap berat aspal. Hasil menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai stabilitas sebesar 40% dan lebih tahan terhadap deformasi serta retak lelah.

2.3. Keaslian Penelitian

Berbeda dengan penelitian Nasution, dkk (2017), penelitian Fikri, dkk (2017), penelitian Erita, dkk (2019), penelitian Alwi, dkk (2020) dan penelitian Debatara dan Sihite (2020). Penelitian di dalam tesis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh

penggunaan limbah plastik PET dalam campuran lapis aspal beton (*Laston*) AC-WC terhadap Karakteristik Marshall berdasarkan Spesifikasi Teknis 2018. Aspal yang dipakai adalah jenis aspal keras penetrasi 40/50 type PG76 merk Shell dan sumber agregat kasar dan halus yang dipakai berasal dari Kampar.

Penelitian dilakukan dengan cara mengambil sampel hotmix sebanyak 3 sampel untuk setiap kadar pembuatan plastik Polyethylene jenis PET 0%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 8%, 10% dan 12%. Dari sampel tersebut ditentukan stabilitas dengan mesin Marshall. Penelitian ini dilakukan di laboratorium PT. Virajaya Riauputra yang berlokasi di KM 27 Lintas Barat Kabupaten Kampar.



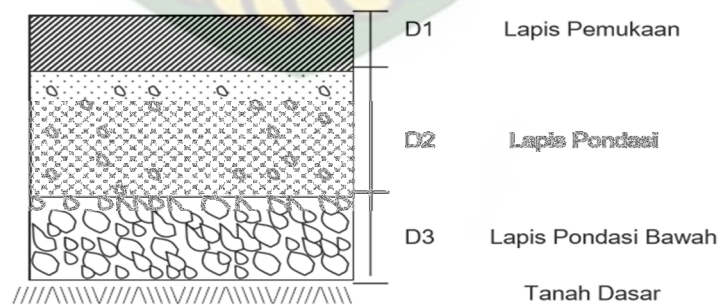
BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur (flexible pavement) adalah perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir sebagai lapisan di bawahnya. Sehingga lapisan perkerasan tersebut mempunyai fleksibilitas/kelenturan yang dapat menciptakan kenyamanan kendaraan dalam melintas di atasnya. Menurut Sukirman (1992) konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya.

Menurut Kementerian Pekerjaan Umum, pada Pedoman Perencanaan Perkerasan Lentur, Pt T-01-2002-B. Struktur perkerasan lentur, umumnya terdiri atas: lapis tanah dasar (subgrade), lapis pondasi bawah (subbase course), lapis pondasi (base course), dan lapis permukaan (surface course). Sedangkan susunan lapis perkerasan adalah seperti diperlihatkan pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Susunan Lapis Perkerasan Lentur (Sukirman, 1999)

1. Lapis tanah dasar (subgrade)

Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung pada sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Persoalan tanah dasar yang sering ditemui antara lain :

- a. Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) dari jenis tanah tertentu sebagai akibat beban lalu-lintas.
- b. Sifat mengembang dan menyusutnya dari tanah tertentu akibat perubahan kadar air
- c. Daya dukung tanah tidak merata dan sukar ditentukan secara pasti pada daerah dan jenis tanah yang sangat berbeda sifat dan kedudukannya, atau akibat pelaksanaan konstruksi.
- d. Lendutan dan lendutan balik selama dan sesudah pembebanan lalu-lintas untuk jenis tanah tertentu.
- e. Tambahan pemadatan akibat pembebanan lalu-lintas dan penurunan yang diakibatkannya, yaitu pada tanah berbutir (*granular soil*) yang tidak dipadatkan secara baik pada saat pelaksanaan konstruksi.

2. Lapis pondasi bawah (subbase course)

Lapis pondasi bawah adalah bagian dari struktur perkerasan lentur yang terletak antara tanah dasar dan lapis pondasi. Biasanya terdiri atas lapisan dari material berbutir (*granular material*) yang dipadatkan, distabilisasi ataupun tidak, atau lapisan tanah yang distabilisasi.

Fungsi lapis pondasi bawah antara lain :

- a. Sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk mendukung dan menyebar beban roda.
- b. Mencapai efisiensi penggunaan material yang relatif murah agar lapisan-lapisan di atasnya dapat dikurangi ketebalannya (penghematan biaya konstruksi).
- c. Mencegah tanah dasar masuk ke dalam lapis pondasi.
- d. Sebagai lapis pertama agar pelaksanaan konstruksi berjalan lancar.

Lapis pondasi bawah diperlukan sehubungan dengan terlalu lemahnya daya dukung tanah dasar terhadap roda-roda alat berat (terutama pada saat pelaksanaan konstruksi) atau karena kondisi lapangan yang memaksa harus segera menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca. Berbagai jenis tanah setempat (CBR > 20%, PI < 10%) yang relatif lebih baik dari tanah dasar dapat digunakan sebagai bahan pondasi bawah. Campuran-campuran tanah setempat dengan kapur atau semen portland, dalam beberapa hal sangat dianjurkan agar diperoleh bantuan yang efektif terhadap kestabilan konstruksi perkerasan

3. Lapis pondasi (base course)

Lapis pondasi adalah bagian dari struktur perkerasan lentur yang terletak langsung di bawah lapis permukaan. Lapis pondasi dibangun di atas lapis pondasi bawah atau, jika tidak menggunakan lapis pondasi bawah, langsung di atas tanah dasar. Fungsi lapis pondasi antara lain :

- a. Sebagai bagian konstruksi perkerasan yang menahan beban roda.
- b. Sebagai perletakan terhadap lapis permukaan.

Bahan-bahan untuk lapis pondasi harus cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban-beban roda. Sebelum menentukan suatu bahan untuk digunakan sebagai bahan pondasi, hendaknya dilakukan penyelidikan dan pertimbangan sebaik-baiknya sehubungan dengan persyaratan teknik. Berbagai macam bahan alam/setempat ($CBR > 50\%$, $PI < 4\%$) dapat digunakan sebagai bahan lapis pondasi, antara lain : batu pecah, kerikil pecah yang distabilisasi dengan semen, aspal, pozzolan, atau kapur.

4. Lapis permukaan (surface course).

Lapis permukaan struktur pekerasan lentur terdiri atas campuran mineral agregat dan bahan pengikat yang ditempatkan sebagai lapisan paling atas dan biasanya terletak di atas lapis pondasi. Fungsi lapis permukaan antara lain :

- a. Sebagai bagian pekerasan untuk menahan beban roda.
- b. Sebagai lapisan tidak tembus air untuk melindungi badan jalan dari kerusakan akibat cuaca.
- c. Sebagai lapisan aus (wearing course).

Bahan untuk lapis permukaan umumnya sama dengan bahan untuk lapis pondasi dengan persyaratan yang lebih tinggi. Penggunaan bahan aspal diperlukan agar lapisan dapat bersifat kedap air, disamping itu bahan aspal sendiri memberikan bantuan tegangan tarik, yang berarti mempertinggi daya dukung lapisan terhadap beban roda. Pemilihan bahan untuk lapis permukaan perlu mempertimbangkan kegunaan, umur rencana serta pentahapan konstruksi agar dicapai manfaat sebesar-besarnya dari biaya yang dikeluarkan.

3.2. Agregat

Menurut Kementerian Pekerjaan Umum pada, Pedoman Pelaksanaan Lapis Campuran Beraspal Panas, Revisi SNI 03-1737-1989, agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun hasil buatan.

Adapun ketentuan umum untuk agregat menurut Kementerian Pekerjaan Umum pada Spesifikasi Teknis Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal adalah :

1. Agregat yang akan digunakan dalam pekerjaan harus sedemikian rupa agar campuran beraspal, yang proporsinya dibuat sesuai dengan rumus perbandingan campuran dan memenuhi semua ketentuan yang disyaratkan
2. Agregat tidak boleh digunakan sebelum memenuhi persyaratan. Bahan agregat harus ditumpuk secara terpisah sehingga tidak saling tercampur satu dengan lainnya.
3. Sebelum memulai pekerjaan sudah menumpuk setiap fraksi agregat pecah dan pasir untuk campuran beraspal, paling sedikit untuk kebutuhan satu bulan atau paling sedikit 40% dari total pekerjaan yang akan dikerjakan dan selanjutnya tumpukan persediaan harus dipertahankan paling sedikit untuk kebutuhan campuran aspal satu bulan berikutnya.
4. Dalam pemilihan sumber agregat, sudah memperhitungkan penyerapan aspal oleh agregat.
5. Penyerapan air oleh agregat maksimum 4%

6. Berat jenis (specific gravity) agregat kasar dan halus tidak boleh berbeda lebih dari 0,2

Adapun agregat sebagai bahan campuran aspal terdiri dari 2 jenis yaitu agregat kasar dan agregat halus. Masing-masing agregat memiliki ketentuan dan syarat menurut spesifikasi teknis 2018 yakni :

1. Agregat kasar

Agregat kasar sebagai bahan campuran aspal memiliki syarat di antaranya :

- a. Fraksi agregat kasar untuk rancangan campuran adalah yang tertahan ayakan No.4 (4,75 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya.
- b. Fraksi agregat kasar harus dari batu pecah mesin dan disiapkan dalam ukuran nominal sesuai dengan jenis campuran yang direncanakan
- c. Angularitas agregat kasar didefinisikan sebagai persen terhadap berat agregat yang lebih besar dari 4,75 mm dengan muka bidang pecah satu atau lebih berdasarkan uji menurut SNI 7619:2012
- d. Fraksi agregat kasar harus ditumpuk terpisah dan harus dipasang ke instalasi pencampur aspal dengan menggunakan pemasok penampung dingin (*cold bin feeds*) sedemikian rupa sehingga gradasi gabungan agregat dapat dikendalikan dengan baik.

Ketentuan agregat kasar sebagai bahan campuran aspal dapat dilihat pada Tabel

3.1.

Tabel 3.1 Ketentuan Agregat Kasar (Bina Marga, 2018)

Pengujian		Metoda Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks.12 %
	magnesium sulfat		Maks.18 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles1)	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	Maks. 6%
		500 putaran	Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks. 8%
		500 putaran	Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95 %
Butir pecah pada agregat kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/90 *)
	Lainnya		95/90 **)
Partikel pipih dan lonjong	SMA	ASTM D4791-10 Perbandingan 1 : 5	Maks. 5%
	Lainnya		Maks. 10 %
Material lolos ayakan No.200		SNI ASTM C117: 2012	Maks. 1%

2. Agregat Halus

Agregat halus sebagai bahan campuran aspal memiliki syarat diantaranya :

1. Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No.4 (4,75 mm).
2. Fraksi agregat halus pecah mesin dan pasir harus ditempatkan terpisah dari agregat kasar
3. Agregat pecah halus dan pasir harus ditumpuk terpisah dan harus dipasok ke instalasi pencampur aspal dengan menggunakan pemasok penampung dingin (*cold*

bin feeds) yang terpisah sehingga gradasi gabungan dan presentase pasir di dalam campuran dapat dikendalikan dengan baik

4. Pasir alam dapat digunakan dalam campuran AC sampai suatu batas yang tidak melampaui 15% terhadap berat total campuran

Ketentuan agregat halus sebagai bahan campuran aspal dapat di lihat pada

Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Ketentuan Agregat Halus (Bina Marga, 2018)

Pengujian	Metoda Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min.50 %
Uji Kadar Rongga Tanpa Pematatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah Dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Agregat Lolos Ayakan No .200	SNI ASTM C 117:2012	Maks.10%

3.3. Bahan Pengisi (*Filler*) Untuk Campuran Beraspal

Ketentuan bahan pengisi (*filler*) sebagai campuran beraspal menurut spesifikasi teknis 2018 adalah :

1. Bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*) dapat berupa debu batu kapur (*limestone dust*), atau debu kapur padam atau debu kapur magnesium atau dolomit yang sesuai dengan AASHTO M 303-89 (2014), atau semen atau abu terbang tipe C dan F
2. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI ASTM C136:2012 harus

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

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

Penggunaan agregat sebagai bahan campuran pembentuk aspal harus memenuhi gradasi yang di syaratkan. Gradasi agregat untuk campuran aspal selanjutnya dijabarkan dalam Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3. Amplop Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal Jenis Laston (WC) (Bina Marga, 2018)

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos Terhadap Total Agregat
ASTM	(Mm)	WC
1 ½ “	37,5	-
1”	25	-
¾”	19	100
½”	12,5	90-100
3/8”	9,5	77 - 90
No.4	4,75	53 - 69
No.8	2,36	33 – 53
No.16	1,18	21 – 40
No.30	0,600	14 – 30
No.50	0,300	9 – 22
No.100	0,150	6 – 15
No. 200	0,075	4 - 9

3.4. Aspal

Aspal adalah bahan yang bersifat termoplastis yang berbentuk padat sampai agak padat pada temperatur ruang. Apabila dipanaskan sampai temperature tertentu

aspal akan mencair, dan apabila temperatur turun aspal akan membeku. Aspal dan agregat merupakan material utama pembentuk perkerasan jalan (Sukirman, 2003).

Hal-hal yang mempengaruhi kinerja campuran aspal adalah :

1. Durability

Durability adalah kemampuan aspal untuk menahan keausan karena cuaca, curah hujan, dan gesekan roda kendaraan.

2. Adhesi dan kohesi

Adhesi dan kohesi sangat penting dimana adalah aspal harus mampu megikat agregat dengan baik dan menahan agregat tetap di tempatnya setelah terjadi pengikatan

3.5. Plastik PET (*Polythylene Terephthalate*)

PET adalah suatu resin polimer plastik dari kelompok poliester. PET banyak diproduksi dalam industri kimia dan digunakan dalam serat sintetis, botol minuman dan wadah makanan, aplikasi *thermoforming*, dan dikombinasikan dengan serat kaca dalam resin teknik. PET merupakan salah satu bahan mentah terpenting dalam kerajinan tekstil.

Secara umum plastik dapat di golongan menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. PET (*Polyethylene Terephthalate*)
2. HDPE (*High Density Polyethylene*)
3. LDPE (*Low Density Polyethylene*)
4. PP (*Polypropylene*)
5. PS (*Polystyrene*)

6. Vinyl (*Polyvinyl Chloride*)

Menurut Fitriano, dkk, (2019) di dalam Jurnal “*Tinjauan Singkat Potensi Pemanfaatan Botol Bekas Berbahan Polyethylene Terephthalate (PET) di Indonesia*” bahwa keunggulan PET sebagai botol minuman dibandingkan material lain adalah transparan, kuat, tahan terhadap minyak dan gas sehingga dapat terhindar dari perubahan aroma dan kontaminan lainnya. Hal tersebut berfungsi untuk menjaga minuman agar tetap awet selama masa penyimpanan.

Botol PET didesain tahan terhadap kondisi lingkungan oleh karena itu material ini memiliki laju degradasi dan biodegradasi yang sangat lambat. Cara lain dari proses degradasi PET adalah dengan metode pemanasan, akan tetapi cara ini memiliki dampak bahaya dimana proses menghasilkan gas beracun seperti karbon monoksida dan dioksin. Selain itu plastik yang dibakar juga akan melepaskan logam berat seperti kadmium dan timbal (Sharon, 2012).

3.6. Cara Pemanfaatan Plastik Pada Perkerasan Jalan

Menurut Kementerian Pekerjaan Umum di dalam buku “*Penerapan Skala Penuh Tegnologi Aspal Limbah Plastik*” yang di terbitkan pada tahun 2017) terdapat dua cara pemanfaatan limbah plastik, yaitu :

1. Proses basah (*wet process*), dimana limbah plastik dimanfaatkan sebagai bahan tambah untuk memodifikasi aspal sehingga memperbaiki kualitas aspalnya
2. Proses kering (*dry process*), dimana limbah plastik dimanfaatkan sebagai bahan memodifikasi aggregate

Tabel 3.4. Ketentuan sifat campuran Laston Modifikasi (AC Mod)(Bina Marga,2018)

Sifat – sifat campuran		Laston
		Lapis Aus
Jumlah tumbukan per bidang		75
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6
	Maks.	1,2
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0
	Maks.	5,0
Rongga dalam agregat (VMA)(%)	Min	15
Rongga terisi aspal (%)	Min	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	1000
Pelelehan (mm)	Min	2
	Maks.	4
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min	90
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal)	Min	2

Menurut Kementerian Pekerjaan Umum di dalam “*Spesifikasi Khusus Interim Campuran Beraspal Panas Menggunakan Limbah Plastik*” (2017) temperature agregat di dalam pugmil (mixer) sebelum di campur limbah plastik antara 160 ° C dan 170 ° C.

3.7. Karakteristik Marshall

Pengujian Marshall dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap pelelehan plastis (*flow*) dari campuran aspal dan agregat. Pelelehan plastis

adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0,01 inch (Nasution, 2017). Nilai stabilitas dan nilai *flow* minimal sebesar 800 kg. Untuk aspal modifikasi nilai stabilitas dan nilai *flow* minimal sebesar 1000 kg (Bina Marga, 2018).

3.7.1. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas (*Stability*) adalah beban maksimum yang dapat diterima suatu campuran beraspal sampai saat terjadi keruntuhan yang dinyatakan dalam kilogram (RSNI, 2003). Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Stabilitas merupakan parameter yang menunjukkan batas maksimum beban yang dapat diterima oleh suatu campuran beraspal saat terjadi keruntuhan yang dinyatakan dalam kilogram (Nasution, 2017).

Nilai stabilitas didapat dengan cara melakukan pembacaan arloji tekan dikalikan dengan hasil kalibrasi cincin penguji serta angka korelasi beban. Untuk rasio korelasi stabilitas dapat dilihat pada Table 3.5.

Tabel 3.5 Rasio Korelasi Stabilitas (RSNI, 2003)

Isi Benda Uji (cm ³)	Tebal Benda Uji (mm)	Angka Koreksi
200 – 213	25,4	5,56
214 - 225	27,0	5,00
226 - 237	28,6	4,55
238 - 250	30,2	4,17
251 - 264	31,8	3,85
265 - 276	33,3	3,57
277 - 289	34,9	3,33
290 - 301	35,5	3,03

Tabel 3.5 Rasio Korelasi Stabilitas (RSNI, 2003) (Lanjutan)

302 - 316	38,1	2,78
317 - 328	39,7	2,50
329 - 340	41,3	2,27
341 - 353	42,9	2,08
354 - 367	44,4	1,92
368 - 379	46,0	1,79
380 - 392	47,6	1,67
393 - 405	49,2	1,56
406 - 420	50,8	1,47
421 - 431	52,4	1,39
432 - 443	54,0	1,32
444 - 456	55,6	1,25
457 - 470	57,2	1,19
471 - 482	58,7	1,14
483 - 495	60,3	1,09
496 - 508	61,9	1,04
509 - 522	63,5	1,00
523 - 535	65,1	0,96
536 - 546	66,7	0,93
547 - 559	68,3	0,89
560 - 573	69,9	0,86
574 - 585	71,4	0,83
586 - 598	73,0	0,81
599 - 610	74,6	0,78
611 - 625	76,2	0,76

3.7.2. Pelelehan (*flow*)

Pelelehan (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran beraspal pada saat runtuh yang dinyatakan dalam milimeter (mm) (RSNI, 2003). *Flow* adalah besarnya penurunan atau deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi

yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterima (Nasution, 2017).

Deformasi yang terjadi erat kaitannya dengan sifat-sifat Marshall yang lain seperti stabilitas, VIM dan VFA, Nilai VIM yang besar menyebabkan berkurangnya interlocking resistance campuran dan dapat berakibat timbulnya deformasi. Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas, nilai *flow* merupakan nilai dari masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Waktu yang diperlukan dari saat diangkatnya benda uji dari bak perendaman atau oven sampai tercapainya beban maksimum tidak boleh melebihi 30 detik.

Cara pengujian sebagai berikut :

1. Rendamlah benda uji dalam bak perendam (water bath) selama 30 – 40 menit dengan suhu tetap $60\text{°C} (\pm 1\text{°C})$ untuk benda uji yang menggunakan aspal padat, untuk benda uji yang menggunakan aspal cair masukkan benda uji ke dalam oven selama minimum 2 jam dengan suhu tetap $25\text{°C} (\pm 1\text{°C})$
2. Keluarkan benda uji dari bak perendam atau dari oven dan letakkan ke dalam segmen bawah kepala penekan.
3. Pasang segmen atas di atas benda uji, dan letakkan keseluruhannya dalam mesin penguji.
4. Pasang arloji pengukur alir (flow) pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (sleeve) dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan.

5. Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda ujinya dinaikkan sehingga menyentuh alas cincin penguji.
6. Atur jarum arloji tekan pada kedudukan angka nol.
7. Berikan pembebanan pada benda uji dengan kecepatan tetap sekitar 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai atau pembebanan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum (stability) yang dicapai, untuk benda uji yang tebalnya tidak sebesar 63,5 mm, koreksilah bebannya dengan faktor perkalian yang bersangkutan dari Tabel 3.5
8. Catat nilai alir (flow) yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur alir pada saat pembebanan maksimum tercapai.

3.7.3. Rongga dalam agregat (*Void in Mineral Agregate, VMA*)

Rongga dalam agregat (*Void in Mineral Agregate, VMA*) adalah ruang di antara partikel agregat pada suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, dinyatakan dalam persen terhadap volume total campuran (RSNI, 2003).

Rongga antar agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Kuantitas terhadap rongga udara berpengaruh terhadap kinerja suatu campuran karena jika VMA terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas, dan jika VMA terlalu besar maka campuran bisa memperlihatkan masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi.

Untuk mendapatkan nilai VMA dapat dengan rumus persamaan 3.1 sebagai berikut :

$$VMA = \frac{100 - Gmb \times Ps}{Gsb} \dots\dots\dots 3.1$$

dimana :

VMA = Rongga diantara mineral agregat, persen terhadap volume total campuran

Gsb = Berat jenis curah agregat

Gmb = Berat jenis curah campuran padat

Ps = Persen agregat terhadap berat total campuran

3.7.4. Rongga dalam campuran (*Void In The Mix*)

Rongga dalam campuran (*Void In The Mix*) adalah ruang udara di antara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan, dinyatakan dalam persen terhadap volume total campuran (RSNI, 2003).

VIM ini dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat jika aspal meleleh menjadi lunak akibat naiknya suhu udara. VIM yang semakin tinggi akan menyebabkan pelelehan yang semakin cepat, berupa alur dan retak. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki ronggarongga dalam campuran yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi.. Rongga udara dalam campuran (*Va*) atau VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti

Untuk mendapatkan nilai VIM dapat dengan rumus persamaan 3.2 berikut ini :

$$VIM = 100 - \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \dots\dots\dots 3.2$$

dimana :

VIM = Rongga di dalam campuran, persen terhadap volume total campuran

Gmb = Berat jenis curah campuran padat

Gmm = Berat jenis maksimum campuran

3.7.5. Rongga terisi aspal (*Void Filled Bitumen, VFB*)

Rongga terisi aspal (*Void Filled Bitumen, VFB*) adalah persen ruang diantara partikel agregat (VMA) yang terisi aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat, dinyatakan dalam persen terhadap VMA (RSNI, 2003). Nilai VFB berpengaruh pada sifat kedap air campuran terhadap air dan udara serta sifat elastisitas campuran. Dengan kata lain VFB menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas.

Semakin tinggi nilai VFB berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedap air campuran terhadap air dan udara juga akan semakin tinggi, tetapi nilai VFA yang terlalu tinggi akan menyebabkan *bleeding*. Nilai VFA yang terlalu kecil akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara karena lapisan film aspal akan menjadi tipis dan akan mudah retak bila menerima penambahan beban sehingga campuran aspal mudah teroksidasi yang akhirnya menyebabkan lapis perkerasan tidak tahan lama

Untuk mendapatkan nilai VFB dapat dengan rumus persamaan 3.3 berikut ini :

$$VFB = \frac{100 (VMA - VIM)}{VMA} \dots\dots\dots 3.3$$

dimana :

VFB = Rongga terisi aspal, persen terhadap VMA

- VMA* = Rongga diantara mineral agregat, persen terhadap volume total campuran
- VIM* = Rongga di dalam campuran,persen terhadap volume total campuran

3.7.6. Kepadatan Membal (*Density Refusal*)

Kepadatan Membal (*Density Refusal*) adalah kepadatan maksimum dari suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, yang diperoleh dengan pengujian sesuai BS 598-1989 (RSNI, 2003).

Puncak kepampatan biasanya bersamaan dengan kadar aspal optimum dan stabilitas puncak. Apabila kadar aspal naik, density ikut naik sampai mencapai puncaknya lalu turun. Kepampatan yang tinggi akan menghasilkan kemampuan untuk menahan beban yang tinggi serta kedekatan terhadap air dan udara yang tinggi.

Nilai kepadatan/density dihitung dengan rumus berikut persamaan 3.4 berikut ini :

$$g = c / f \dots\dots\dots 3.4$$

dimana :

g = Nilai kepadatan (gr/cc)

c = Berat kering / sebelum direndam (gr)

f = Volume benda uji (cc)

3.7.7. Marshall Quotient (MQ)

Hasil Bagi Marshall merupakan hasil bagi stabilitas dengan kelelahan. Semakin tinggi nilai MQ, maka kemungkinan akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan.

Sedangkan nilai MQ yang terlalu rendah dapat berakibat alur dan *bleeding*. Semakin besar nilai MQ berarti campuran aspal semakin kaku dan kurang lentur sehingga mudah retak sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur dan plastis sehingga mudah mengalami perubahan bentuk saat menerima beban lalu lintas yang tinggi.

Nilai MQ dapat dihitung dengan rumus persamaan 3.5 berikut ini :

$$\text{Marshal Quotient} = \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Pelelehan (Flow)}} \dots\dots\dots 3.5$$

dimana :

Marshal Quotient satuannya kg/mm

Stabilitas satuannya kg

Pelelehan (flow) satuannya mm

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1. Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan limbah plastik PET terhadap campuran Laston Lapis Aus (AC- WC) dengan menggunakan material agregat dari Kampar ditinjau dari hasil pengujian karakteristik Marshall yaitu terhadap stabilitas campuran aspal.

4.2. Lokasi Penelitian

Lokasi pelaksanaan pengujian dilakukan di laboratorium PT. VIRAJAYA yang beralamat di Jalan Raya Pekanbaru – Bangkinang KM 27 Kabupaten Kampar.

4.3. Bahan Penelitian

Bahan yang di gunakan di dalam penelitian ini adalah :

1. Asphalt penetrasi 40/50 merek Shell (Shell Cariphalte PG 76)
2. Agregat kasar kasar dan agregat halus (abu batu dan pasir) dari XIII Koto Kampar
3. Filler (semen)
4. Plastik Polyethylene jenis PET dari botol minuman merk Aqua

4.4. Alat Penelitian

Alat yang di gunakan di dalam penelitian ini adalah :

1. Alat uji Marshall
2. Water batch
3. Saringan untuk gradasi agregat

4. Wadah pencampuran
5. Sendok besi
6. Alat pemanas material
7. Mold, yaitu cetakan sampel aspal
8. Alat pemadat aspal

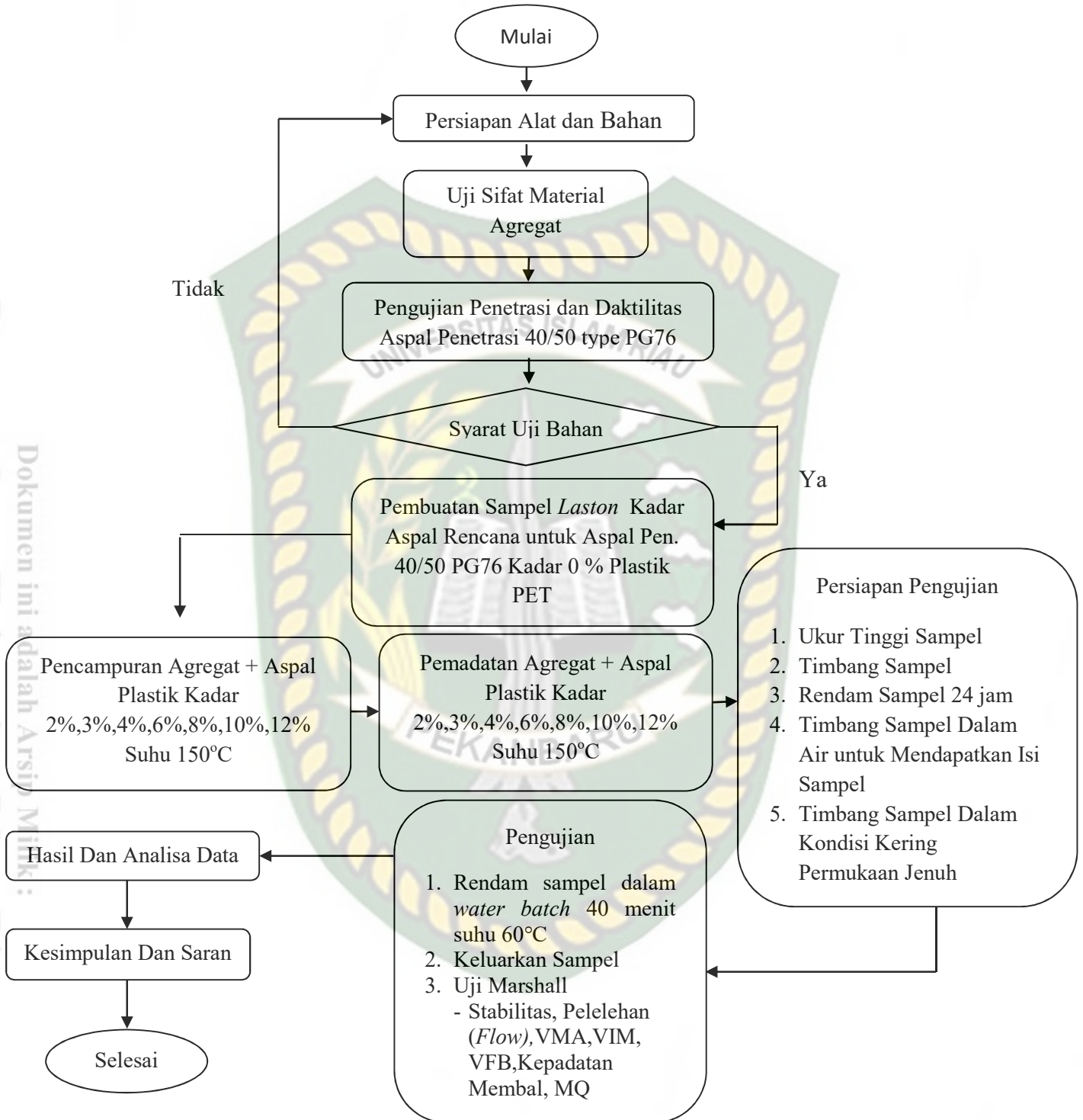
4.5. Rancangan Campuran

Berdasarkan perhitungan rancangan campuran (*Mix Design*) yang direncanakan, diperoleh kombinasi pencampuran material pembentuk campuran aspal plastik sebagai berikut :

1. Berat keseluruhan benda uji 1200 gram
2. Kadar aspal 5.5 % terhadap berat keseluruhan campuran
3. Batu pecah terdiri dari :
 - a. Agregat kasar (Hot Bin 1) sebanyak 15% terhadap berat keseluruhan
 - b. Agregat halus (Hot Bin 2) sebanyak 30 % terhadap berat keseluruhan
 - c. Abu batu (Hot Bin 3) sebanyak 53% terhadap berat keseluruhan
 - d. Filler (Semen) sebanyak 2% terhadap berat keseluruhan

4.6. Tahapan pelaksanaan penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian selanjutnya digambarkan dalam Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Tahapan pelaksanaan penelitian

Tahapan pengujian yang dilakukan pada pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan sifat-sifat bahan diantaranya berat isi material, kadar air , nilai abrasi material agregat yang dipakai, dsb.
2. Melakukan pengujian penetrasi dan daktalitas aspal penetrasi 40/50 type PG76 kadar 0 % Plastik PET
3. Menentukan kadar aspal rencana penggunaan Aspal Pen. 40/50 PG76 Kadar 0 % Plastik PET. Dari hasil pengujian didapat kadar aspal yang digunakan adalah 5,5 % terhadap berat keseluruhan campuran aspal beton untuk Laston Lapis Aus (AC-WC).
4. Siapkan material sesuai dengan ketentuan
5. Keringkan agregat pada suhu 105 °C – 110 °C didalam oven untuk mencapai berat yang tetap
6. Keluarkan dan dinginkan. Setelah dingin, ditimbang untuk memperoleh gradasi agregat yang dikehendaki
7. Panaskan agregat hingga mencapai suhu pencampuran
8. Mencampur bahan secara merata sesuai dengan komposisi yang sudah dibuat. Teknik pencampuran plastik dilakukan dengan cara basah. Cara basah yaitu pencampuran plastik bersama asphalt cair terlebih dahulu di dalam sebuah wadah dengan menggunakan dan sendok besi sebelum dicampur kembali ke dalam agregat panas dan filler.
9. Sampel yang sudah tercampur merata kemudian dimasukkan ke dalam mold yang terbuat dari besi berbentuk bulat ukuran 4 inchi dan telah dilapisi dengan

kertas saring. Agar seluruh rongga dalam mold terisi aspal, campuran yang telah berada di dalam mold ditusuk-tusuk dengan menggunakan spatula pada seluruh bagian dalam mold.

10. Bagian atas mal kemudian ditutup dengan menggunakan kertas saring
Dilakukan pemadatan dengan cara ditumbuk dengan menggunakan alat pemukul sebanyak 75 kali untuk kedua sisinya.
11. Sampel yang sudah padat kemudian didiamkan selama 4 menit.
12. Sampel dibuka dari mold dengan menggunakan dongkrak
13. Sampel yang sudah dikeluarkan kemudian dibersihkan dari material-material lepas yang berada di permukaan sampel. Sampel kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat kering.
14. Sampel dibuat sebanyak 3 benda uji terhadap masing-masing kadar penambahan plastik dengan metode pencampuran basah. Untuk 1 buah sampel pengujian Marshall dibutuhkan $\pm 1,2$ kg campuran hotmix.
15. Sampel kemudian direndam di dalam wadah selama 24 jam. Setelah 24 jam, sampel ditimbang di dalam air untuk mengetahui berat sampel dalam air.
16. Sampel kemudian diangkat dan dikeringkan. Hasil dari sampel yang sudah dikeringkan kemudian ditimbang sebagai berat kering permukaan.
17. Sampel kemudian direndam dalam *water batch* selama 40 menit` dengan suhu perendaman air 60°C .
18. Letakkan benda uji pada pelat marshal dan atur arloji pengukur kelelahan.

19. Jalankan mesin Marshall dan lakukan pengujian sampel dengan cara memberikan pembebanan pada tiap-tiap sampel .
20. Analisis data hasil pengujian.

4.7. Cara Analisa Data

Pada tahap ini dilakukan analisa data dengan cara :

1. Seluruh data yang diperoleh dari hasil uji sampel setiap masing-masing penambahan kadar plastik PET pada campuran aspal beton, diolah dengan program Excel dan di sajikan dalam bentuk table dan grafik.
2. Analisa mengenai penambahan plastik PET pada campuran dengan variasi mana yang memenuhi nilai karakteristik marshall sesuai Spesifikasi Teknis 2018.



Gambar 4.2 Uji Marshall dan Flow

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Umum

Material agregat adalah unsur yang penting di dalam campuran aspal. Didalam penelitian ini agregat kasar dan agregat halus yang dipakai bersumber dari Kampar. Sebelum agregat di pakai maka terlebih dahulu dilakukan pengujian terhadap agregat.

Cara uji abrasi dilakukan sebagai pegangan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin abrasi Los Angeles (SNI, 2008).

Tujuannya untuk mengetahui angka keausan yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus terhadap berat semula dalam persen. Hasilnya dapat digunakan dalam perencanaan dan pelaksanaan bahan perkerasan jalan atau konstruksi beton.

Tabel 5.1. Hasil Perhitungan Pengujian Abrasi Material Agregat terhadap Spesifikasi Teknis 2018

Pengujian	Jumlah Putaran Sesuai Spesifikasi Teknis 2018	Nilai Batas Spesifikasi	Hasil Pengujian	Keterangan
Abrasi dengan Mesin Los Angeles	500 Putaran	Max 40 %	29 %	Memenuhi

Dari hasil pengujian abrasi material yang akan dipakai sebagai agregat campuran aspal dimana material agregat tersebut bersumber dari Kampar memenuhi syarat sebagai agregat sesuai ketentuan spesifikasi teknis 2018. Karena nilai tes abrasi

yang didapatkan yakni 29 %. Dimana batas maksimum keausan agregat setelah dilakukan pengujian abrasi dengan mesin Los Angeles adalah 40%.

5.2. Gradasi Gabungan

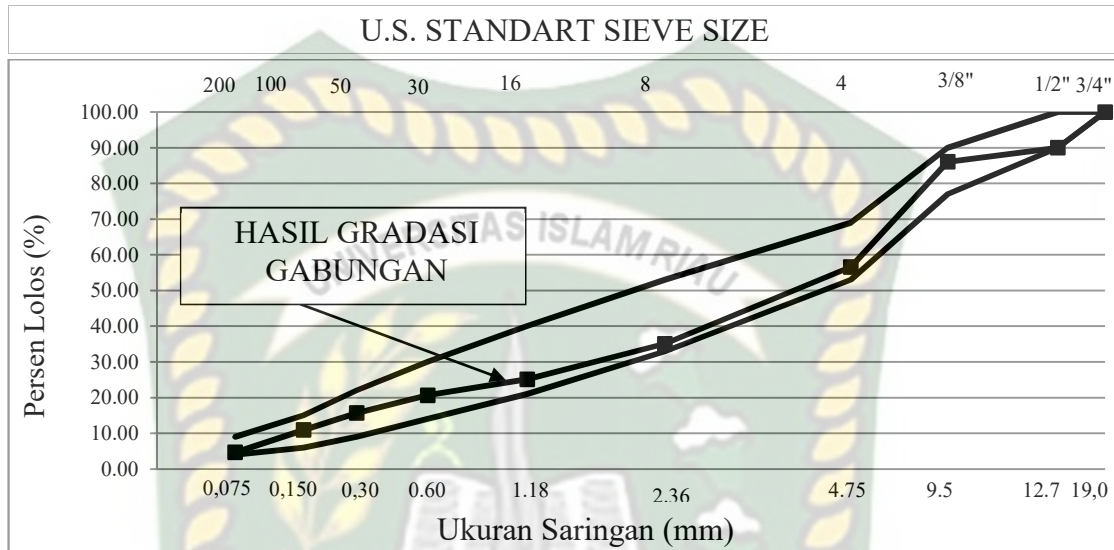
Gradasi agregat gabungan untuk campuran beraspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi, harus memenuhi batas-batas yang telah ditentukan didalam Spesifikasi Teknis 2018. Rancangan dan perbandingan campuran untuk gradasi agregat gabungan harus mempunyai jarak terhadap batas-batas yang diberikan sesuai spesifikasi teknis 2018.

Tabel 5.2. Hasil Perhitungan Gradasi Agregat terhadap Spesifikasi Teknis 2018

Ukuran Ayakan		% Berat yang lolos terhadap total agregat		Keterangan
ASTM	(mm)	Laston AC-WC		
		Spesifikasi Teknis 2018	Hasil Pengujian	
1"	25			
3/4"	19	100	100.00	Memenuhi
1/2"	12,5	90 - 100	90.01	Memenuhi
3/8"	9,5	77 - 90	86.04	Memenuhi
No. 4	4,75	53 - 69	56.60	Memenuhi
No. 8	2,36	33 - 53	35.09	Memenuhi
No. 16	1,18	21 - 40	25.13	Memenuhi
No. 30	0,600	14 - 30	20.66	Memenuhi
No. 50	0,300	9 - 22	15.68	Memenuhi
No. 100	0,150	6 - 15	10.91	Memenuhi
No. 200	0,075	4 - 9	4.66	Memenuhi

Dari hasil perhitungan gradasi agregat gabungan agregat kasar dan halus yang bersumber dari Kampar yang akan di gunakan sebagai bahan campuran beraspal di

dapat nilai-nilai yang masih memenuhi batas-batas yang di syartkan di dalam spesifikasi teknis 2018.



Gambar 5.1 Hasil Gradasi Gabungan

5.3. Penetrasi

Aspal merupakan bahan pengikat agregat yang mutu dan jumlahnya sangat menentukan keberhasilan suatu campuran beraspal yang merupakan bahan jalan. Salah satu jenis pengujian dalam menentukan persyaratan mutu aspal adalah penetrasi aspal yang merupakan sifat rheologi aspal yaitu kekerasan aspal (SNI, 2011)



Gambar 5.2 Pengujian Penetrasi Aspal + Plastik PET

Tabel 5.3. Hasil Perhitungan Penetrasi setiap Penambahan Kadar Plastik PET terhadap Spesifikasi Teknis 2018

Persentase Kadar Penambahan Plastik (%)	Nilai Penetrasi Untuk Aspal Keras PG 76 sesuai Spesifikasi Teknis 2018	Hasil Pengujian Penetrasi	Keterangan
0%	≥ 50	50	Memenuhi
2%		99	Memenuhi
3%		111	Memenuhi
4%		86	Memenuhi
6%		117	Memenuhi
8%		68	Memenuhi
10%		79	Memenuhi
12%		80	Memenuhi

Dari hasil pengujian untuk nilai penetrasi aspal setelah di campur dengan limbah plastik *polyethylen* type PET untuk masing-masing kadar didapat nilai-nilai penetrasi diatas spesifikasi teknis 2018 untuk aspal keras type PG 76. Nilai penetrasi aspal bertambah secara fluktuatif setelah dilakukan penambahan plastik PET. Hal ini menunjukkan bahwa aspal keras Penetrasi 40/50 type PG 76 akan menjadi lunak dengan meningkatnya persentase kadar penambahan plastik PET botol minuman merek Aqua dalam campuran aspal. Nilai penetrasi campuran aspal yang di campur plastik PET yang meningkat ini di pengaruhi oleh sifat dan karakteristik material plastik PET film yang liat/kenyal (Mujiarto, 2005). Sehingga aspal keras yang di campur dengan plastik PET bekas botol minuman merek Aqua meningkatkan kekenyalan dan elastisitas dari aspal penetrasi 40/50 type PG 76.

Nilai penetrasi untuk kadar plastik 0%, 2% dan 3% setelah dilakukan pengujian adalah 50 mm, 99 mm dan 111 mm. Nilai penetrasi untuk kadar plastik 3%

merupakan nilai yang paling tinggi untuk keseluruhan nilai penetrasi dari sampel aspal Penetrasi 40/50 setelah di campur dengan plastik PET.

Nilai penetrasi untuk kadar penambahan plastik 4% mengalaminya penurunan yakni 86 mm. Nilai untuk kadar penambahan plastik 6% mengalami kenaikan lagi yakni 105 mm.

Nilai penetrasi aspal yang di campur dengan penambahan plastik pada kadar 8%, 10% dan 12% adalah 68 mm, 79 mm dan 80 mm. Hubungan kadar plastik dan nilai penetrasi dapat di lihat pada gambar 5.3.

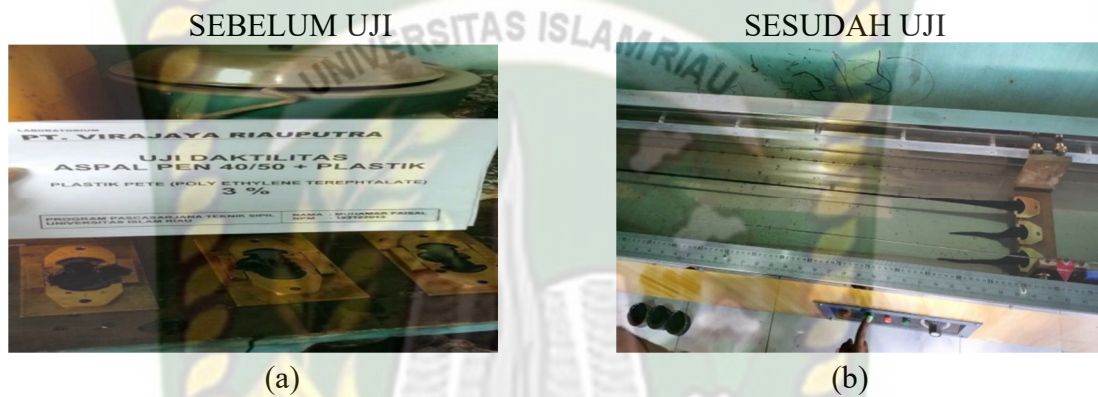


Gambar 5.3 Hubungan Kadar Plastik PET dan Nilai Penetrasi

Pada gambar 5.3 diatas semua nilai penetrasi yang didapatkan dari hasil pengujian semuanya berada diatas ketentuan batas minimum yang disyaratkan sesuai spesifikasi teknis 2018 untuk aspal keras tipe II aspal modifikasi elastomer sintetis PG 76 yaitu ≥ 50 .

5.4. Daktilitas

Daktalitas adalah sifat elastisitas aspal yang diukur pada saat putus (SNI, 2011). Untuk hasil pengujian daktalitas aspal penetrasi 40/50 PG76 setelah di tambahkan plastik PET sesuai dengan kadar yang direncanakan di dapat nilai-nilai daktalitas seperti pada Tabel.5.4.



Gambar 5.4 Pengujian Daktilitas

Gambar 5.4 (a) merupakan campuran aspal dan plastik PET di dalam cetakan yang siap untuk dilakukan pengujian daktalitas. Pada gambar 5.4 (b) merupakan benda uji yang telah dilakukan uji daktalitas. Nilai hasil perhitungan daktalitas dapat di lihat pada tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Daktilitas untuk Setiap Kadar Penambahan Plastik PET terhadap Spesifikasi Teknis 2018

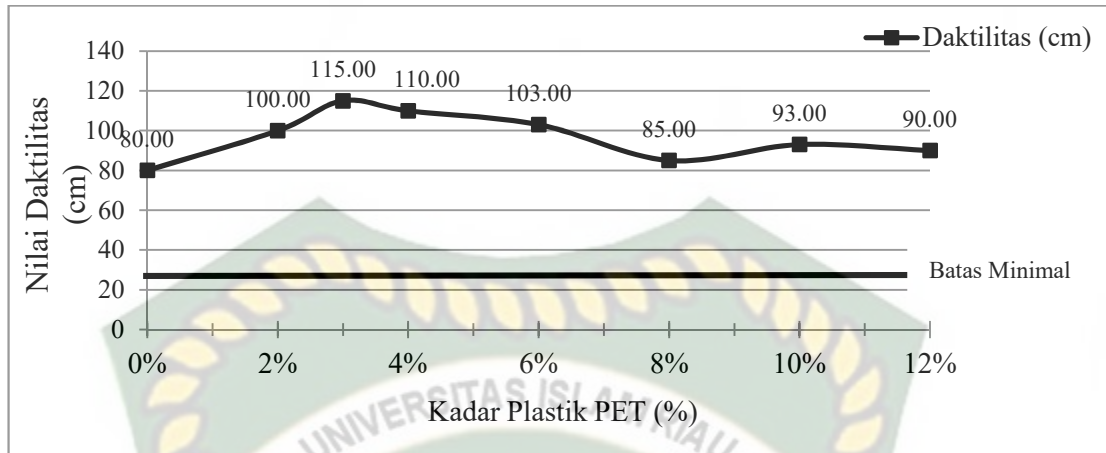
Persentase Kadar Penambahan Plastik (%)	Spesifikasi Teknis 2018 Untuk Daktilitas Aspal Keras PG 76	Hasil Pengujian Daktilitas pada 25 °C (cm)	Keterangan
0%	≥ 25 cm	80	Memenuhi
2%		100	Memenuhi

Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Daktilitas untuk Setiap Kadar Penambahan Plastik PET terhadap Spesifikasi Teknis 2018 (Lanjutan)

3%	≥ 25 cm	115	Memenuhi
4%		110	Memenuhi
6%		103	Memenuhi
8%		85	Memenuhi
10%		93	Memenuhi
12%		90	Memenuhi

Hasil pengujian Daktilitas aspal Penetrasi 40/50 PG76 setelah ditambahkan plastik PET didapat nilai untuk nilai Daktilitas kadar plastik 0%, 2% dan 3% adalah 80 cm, 100 cm, dan 115 cm, sedangkan nilai Daktilitas kadar plastik 4%, 6%, dan 8% adalah 110 cm, 103 cm, 85 cm, selanjutnya nilai Daktilitas kadar plastik 10% dan 12% adalah 93 cm dan 90 cm.

Keseluruhan nilai-nilai Daktilitas yang di dapatkan tersebut terlihat penambahan nilai yang fluktuatif terhadap setiap kadar penambahan plastik PET, ini menunjukkan bahwa plastik PET mempengaruhi nilai Daktilitas dan menyebabkan aspal keras Penetrasi 45/50 PG76 menjadi lunak dan elastisitasnya meningkat setelah dicampur dengan plastik PET. Dimana nilai Daktilitas akan bertambah fluktuatif seiring dengan penambahan kadar plastik PET. Hubungan kadar plastik PET dan nilai daktilitas dapat dilihat pada gambar 5.5.



Gambar 5.5 Hubungan Kadar Plastik PET dan Nilai Daktilitas

Dari hasil pengujian Daktilitas di laboratorium PT.Vira Jaya diperoleh nilai-nilai di atas ketentuan yang di syaratkan di dalam spesifikasi teknis. Dimana nilai Daktilitas aspal Penetrasi 40/50 PG76 sesuai spesifikasi teknis 2018 yaitu minimal ≥ 25 cm pada suhu 25°C.

5.5. Analisis Nilai Marshall

Dari hasil pengujian di laboratorium campuran aspal Pen. 40/50 PG76 dan plastik PET dengan menggunakan materil yang bersumber dari Kampar di dapatkan perhitungan dan analisa karakteristik marshall. Adapun nilai-nilai yang diperoleh dari hasil pengujian marshall adalah Stabilitas (*stability*), Pelelehan (*flow*), Rongga dalam agregat (VMA), Rongga dalam campuran (VIM), Rongga terisi aspal (VFB), Kepadatan membal (*density refusal*) dan Marshall Quotient (MQ).

5.5.1. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas adalah beban maksimum yang dapat diterima suatu campuran beraspal sampai saat terjadi keruntuhan yang dinyatakan dalam kilogram (SNI, 1991).

Dimana nilai stabilitas yang terbaca oleh pembacaan arloji tekan dikalikan dengan hasil kalibrasi cincin pengujian alat serta angka korelasi beban tiap sampel.



Gambar 5.6 Pengujian Stabilitas

Gambar 5.6 (a) merupakan benda uji yang telah dikeluarkan dari mold cetakan dan siap untuk dilakukan pengujian. Pada gambar 5.6 (b) adalah benda uji yang telah dilakukan pengujian dengan alat marshall test. Nilai hasil pengujian stabilitas dapat dilihat pada tabel 5.5.

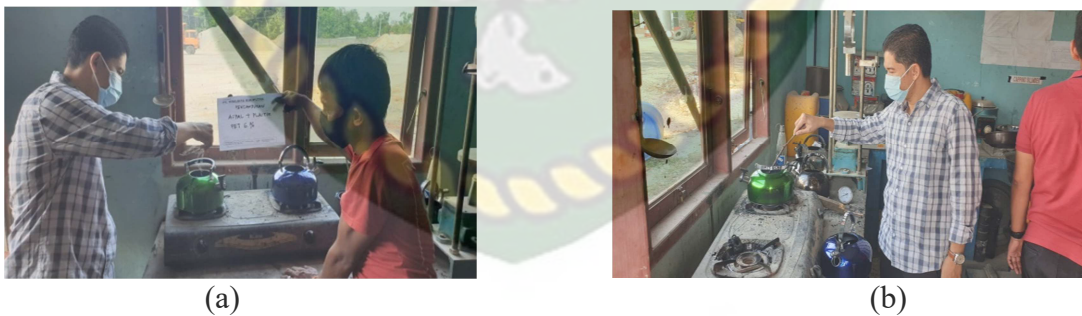
Tabel 5.5. Hasil Perhitungan Stabilitas Marshall untuk setiap Kadar Penambahan Plastik PET terhadap Spesifikasi Teknis 2018

Persentase Kadar Penambahan Plastik (%)	Spesifikasi Teknis 2018 Untuk Stabilitas Aspal Keras PG 76 (Kg)	Hasil Pengujian Stabilitas (Kg)	Keterangan
0%	Minimal 1000	2598.4	Memenuhi
2%		2406.4	Memenuhi
3%		2656	Memenuhi
4%		1868.8	Memenuhi
6%		2752	Memenuhi
8%		2355.2	Memenuhi

Tabel 5.5. Hasil Perhitungan Stabilitas Marshall untuk setiap Kadar Penambahan Plastik PET terhadap Spesifikasi Teknis 2018 (Lanjutan)

10%	Minimal 1000	1920	Memenuhi
12%		2508.8	Memenuhi

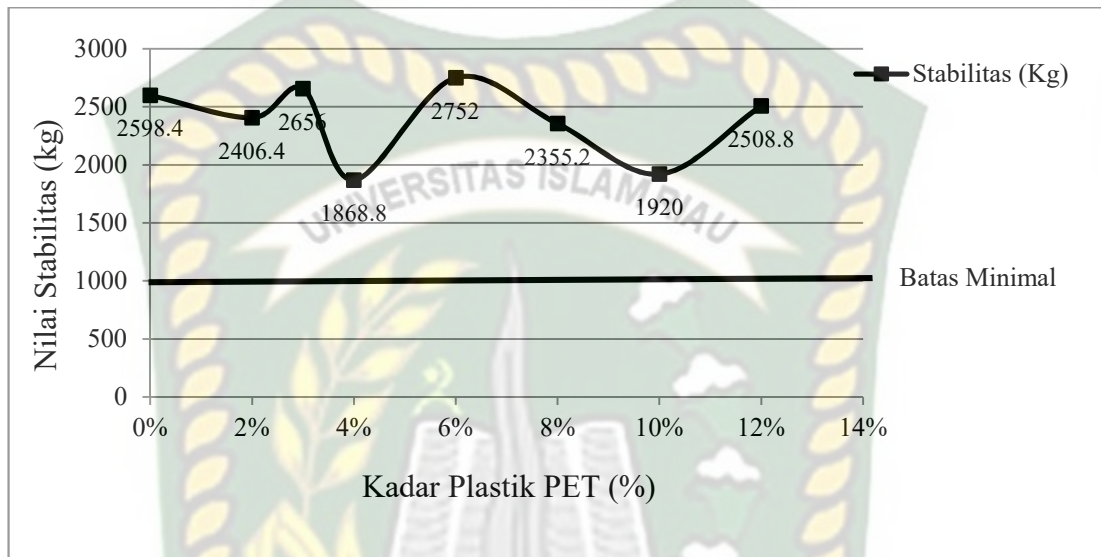
Dari hasil pengujian dilaboratorium PT.Vira Jaya untuk penambahan PET pada campuran aspal dengan menggunakan agregat yang bersumber dari Kampar di dapatkan nilai stabilitas marshall yang fluktuatif pada setiap penambahan kadar plastik PET cara basah. Nilai stabilitas yang didapat cenderung meningkat. Hal ini disebabkan karena penambahan plastik PET bekas botol minuman merek Aqua di dalam campuran aspal AC-WC dengan menggunakan agregat yang bersumber dari Kampar meningkatkan daya ikat aspal dan agregat. Dengan penambahan plastik PET pada campuran aspal mampu mengisi rongga VIM, VMA dan VFB sehingga ikatan antar agregat semakin kuat dan saling mengunci. Hal ini dapat mengurangi kerusakan jalan seperti pelepasan butiran, pengelupasan akibat genangan air dan kelembapan.



Gambar 5.7 Pencampuran Plastik PET dengan Aspal Penetrasi 40/50 PG76

Gambar 5.7 (a) adalah saat potongan plastik PET ukuran 0.5 cm x 15 cm di masukkan ke dalam aspal yang dipanaskan dan gambar 5.7 adalah saat pengadukan

plastik yang telah tercampur aspal di dalam wadah dengan tujuan agar plastik dan aspal tercampur dengan baik. Untuk hubungan kadar plastik PET dan nilai stabilitas dapat di lihat pada gambar 5.8.



Gambar 5.8 Hubungan Kadar Plastik PET dan Nilai Stabilitas Marshall

Nilai stabilitas marshall yang didapat dari hasil pengujian campuran aspal keras type PG 76 dengan menggunakan agregat yang bersumber dari Kampar dengan penambahan plastik PET untuk kadar plastik 0%, 2% dan 3% adalah 2598.4 kg, 2406.4 kg dan 2656 kg. Sedangkan untuk kadar plastik 4%, 6% dan 8% didapat nilai stabilitasnya 1868.8 kg, 2752 kg, dan 2656 kg. Selanjutnya untuk kadar 10% dan 12% didapat nilai stabilitasnya 1920 kg dan 2508.8 kg. Dari keseluruhan nilai stabilitas yang didapatkan terlihat nilainya diatas nilai minimum yang disyaratkan di dalam spesifikasi teknis 2018 yaitu 1000 kg.

5.5.2. Pelelehan (*Flow*)

Pelelehan atau *flow* adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran beraspal pada saat runtuh yang dinyatakan dalam mm (SNI, 2003). Untuk nilai pelelehan yang didapat dari hasil pengujian penambahan plastik PET cara basah dengan kadar tertentu pada aspal Penetrasi 40/50 PG76 dapat dilihat pada Tabel.5.6.

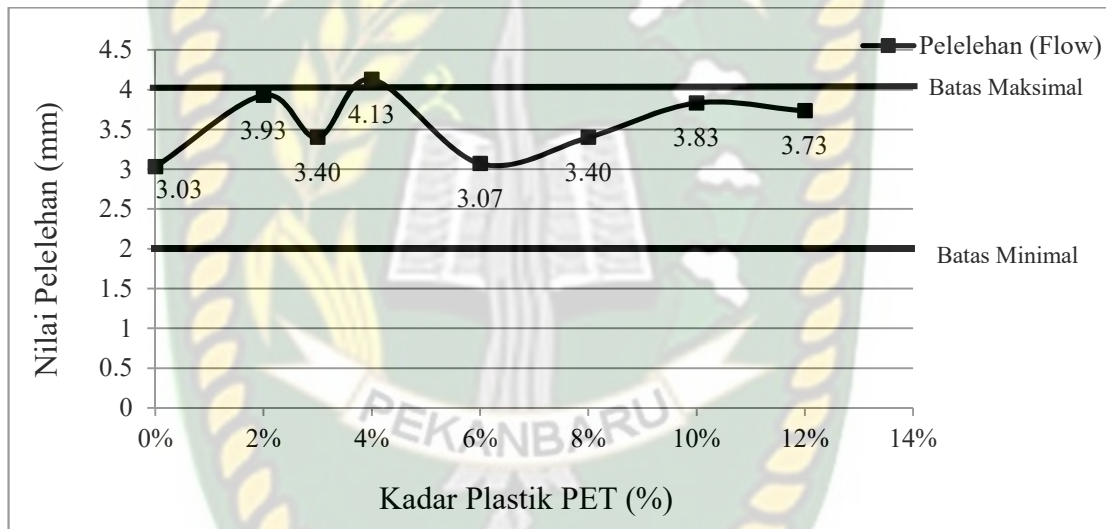
Tabel 5.6. Hasil Perhitungan Pelelehan (*Flow*) untuk setiap Kadar Penambahan Plastik PET terhadap Spesifikasi Teknis 2018

Persentase Kadar Penambahan Plastik (%)	Spesifikasi Teknis 2018 Untuk Pelelehan (<i>Flow</i>) Aspal Keras PG 76 (mm)	Hasil Pengujian Pelelehan (<i>Flow</i>) (mm)	Keterangan
0%	Min. 2 - Max. 4	3.03	Memenuhi
2%		3.93	Memenuhi
3%		3.40	Memenuhi
4%		4.13	Tidak Memenuhi
6%		3.07	Memenuhi
8%		3.40	Memenuhi
10%		3.83	Memenuhi
12%		3.73	Memenuhi

Hasil pengujian untuk nilai pelelehan (*flow*) campuran aspal setelah ditambahkan plastik PET dengan menggunakan agregat yang bersumber dari Kampar didapat nilai pelelehan yang fluktuatif. Dimana untuk kadar penambahan plastik PET 0%, 2% dan 3% didapat nilai pelelehan 3,03 mm, 3,93 mm dan 3,40 mm, nilai pelelehan ini masih memenuhi nilai yang disyaratkan didalam spesifikasi teknis 2018.

Nilai pelelehan (*flow*) untuk kadar penambahan plastik PET 4%, 6% dan 8% di dapat nilai pelelehan 4,13 mm, 3,07 mm dan 3,40 mm. Nilai pelelehan untuk

penambahan plastik PET 4% melebihi nilai pelelehan yang disyaratkan. Apabila penambahan plastik kadar 4% ini dipakai akan menyebabkan deformasi yg berlebihan terhadap campuran karena didalam spesifikasi teknis batas pelelehan (*flow*) minimal adalah 2 mm dan batas maksimal pelelehan adalah 4 mm. Nilai pelelehan (*flow*) kadar penambahan plastik PET 10% dan 12% adalah 3,83 mm dan 3,73 mm dimana nilai ini masih sesuai spesifikasi teknis 2018. Untuk mengetahui hubungan antara nilai pelelehan (*flow*) dan kadar plastik dapat dilihat pada gambar 5.9.



Gambar 5.9 Hubungan Kadar Plastik PET dan Nilai Pelelehan (Flow)

Pada gambar 5.9 diatas dapat dilihat bahwa kadar plastik PET yang tidak memenuhi syarat dan berada di atas ketentuan spesifikasi teknis 2018 adalah kadar 4 % penggunaan plastik PET.

5.5.3. Rongga dalam agregat (*Void in Mineral Agregate, VMA*)

Rongga dalam agregat (*Void in Mineral Agregate*) adalah ruang di antara partikel agregat pada suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, dinyatakan dalam persen terhadap volume total campuran (SNI,1991). Hasil pengujian yang di dapat untuk rongga dalam agregat setiap kadar penambahan plastik PET untuk aspal penetrasi 40/50 dengan material Kampar dapat dilihat pada Tabel.5.7.

Tabel 5.7. Hasil Perhitungan Rongga dalam Agregat (VMA) untuk setiap Kadar Penambahan Plastik PET terhadap Spesifikasi Teknis 2018

Persentase Kadar Penambahan Plastik (%)	Spesifikasi Teknis 2018 Rongga dalam Agregat (VMA)	Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Keterangan
0%	Minimal 15%	15.13	Memenuhi
2%		13.94	Tidak Memenuhi
3%		15.25	Memenuhi
4%		15.83	Memenuhi
6%		16.01	Memenuhi
8%		13.07	Tidak Memenuhi
10%		14.57	Tidak Memenuhi
12%		13.61	Tidak Memenuhi

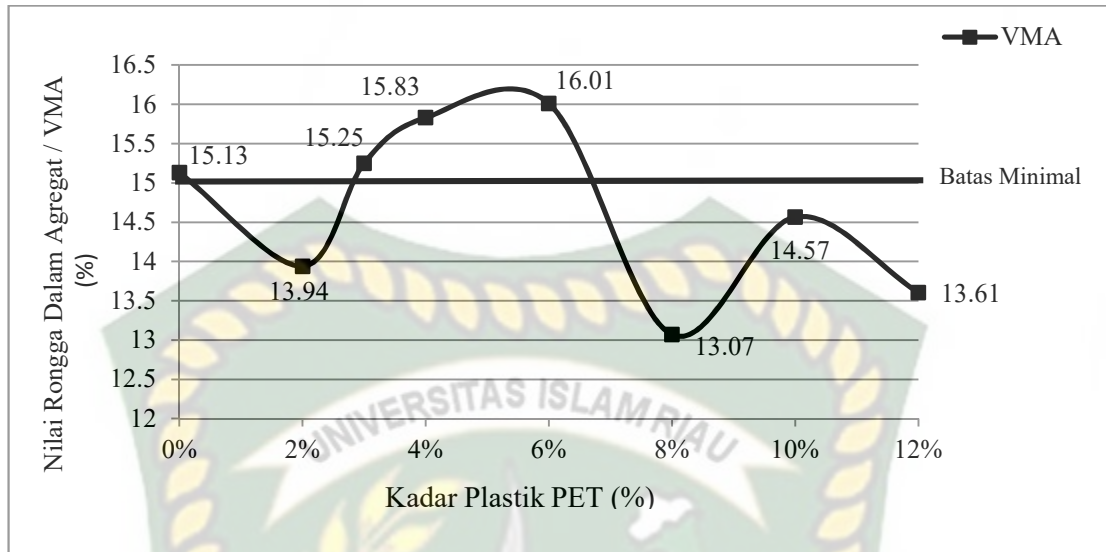
Hasil pengujian di laboratorium PT.Vira Jaya untuk rongga dalam agregat (*void in mineral agregate*) campuran aspal setelah ditambahkan plastik PET, menggunakan agregat yang bersumber dari Kampar dengan cara basah. Didapat nilai VMA yang fluktuatif, dimana untuk kadar penambahan plastik PET 0%, 2% dan 3% di dapat nilai rongga dalam agregat 15.13 %, 13.94 % dan 15.25 %.

Nilai VMA untuk kadar penambahan plastik PET 2% tidak memenuhi spesifikasi teknis karena batas minimal VMA sesuai spesifikasi teknis 2018 adalah minimal 15%. Sedangkan nilai rongga dalam agregat untuk kadar penambahan plastik PET 0 % dan 3% yaitu 15,13 % dan 15,25% berada diatas batas minimal spesifikasi teknis 2018.

Nilai VMA untuk kadar penambahan plastik PET 4%, 6% dan 8% adalah 15.83%, 16.01% dan 13.07%. Nilai VMA untuk penambahan kadar plastik 8% tidak memenuhi batas minimal yang dipersyaratkan di dalam spesifikasi teknis 2018 yakni 15%.

Nilai VMA untuk kadar penambahan plastik PET 10% dan 12% adalah 14.57% dan 13.61% dimana nilai ini dibawah batas minimal rongga dalam agregat yang dipersyaratkan didalam spesifikasi teknis 2018 yakni minimal 15%. Apabila penambahan plastik PET kadar 10 % dan 12 % ini tetap dipakai maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas. Karena kuantitas terhadap rongga udara berpengaruh terhadap kinerja suatu campuran karena jika VMA terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas, dan jika VMA terlalu besar maka campuran bisa memperlihatkan masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi.

Dari keseluruhan kadar penambahan plastik PET yang memenuhi batas yang sesuai spesifikasi teknis 2018 yaitu minimal 15% adalah kadar penambahan plastik PET 3%, 4%, dan 6%. Hubungan antara rongga dalam agregat dan kadar plastik dapat dilihat pada gambar 5.10.



Gambar 5.10 Hubungan Kadar Plastik PET dan Nilai Rongga Dalam Agregat (VMA)

Pada gambar 5.10 terlihat bahwa nilai VMA yang tertinggi adalah pada kadar 6% penggunaan plastik PET. Tetapi pada kadar 6 % penggunaan plastik ini tidak otomatis dapat dipakai di dalam campuran karena tetap harus memperhatikan nilai-nilai parameter karakteristik marshall yang lain seperti nilai stabilitas, pelelehan, VIM, VFB, kepadatan membak (*density refusal*) dan marshall quotient. Apabila salah satu dari beberapa parameter nilai test marshall tersebut ada yang tidak memenuhi ketentuan sesuai spesifikasi teknis 2018 maka penggunaan plastik PET kadar 6 % tidak dapat di pakai di dalam campuran.

5.5.4. Rongga dalam campuran (*Void In The Mix, VIM*)

Rongga dalam campuran (*Void In The Mix*) adalah ruang udara di antara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan, dinyatakan dalam persen terhadap volume total campuran (SNI,1991).

Hasil pengujian penambahan kadar plastik PET cara basah terhadap rongga dalam campuran (VIM) dapat dilihat pada tabel 5.8.

Tabel 5.8. Hasil Perhitungan Rongga dalam campuran (VIM) untuk setiap Kadar Penambahan Plastik PET terhadap Spesifikasi Teknis 2018

Persentase Kadar Penambahan Plastik (%)	Spesifikasi Teknis 2018 Rongga dalam Campuran (VIM)	Rongga Dalam Campuran (VIM) (%)	Keterangan
0%	Batas minimal 3 % Batas maksimal 5 %	4.72	Memenuhi
2%		3.38	Memenuhi
3%		4.85	Memenuhi
4%		5.50	Tidak Memenuhi
6%		5.71	Tidak Memenuhi
8%		2.41	Tidak Memenuhi
10%		4.08	Memenuhi
12%		3.00	Memenuhi

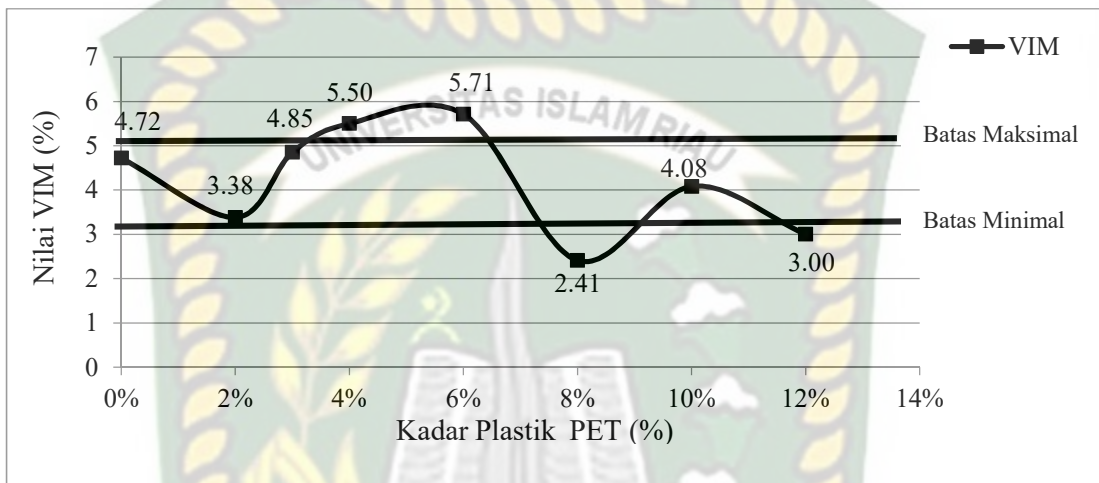
Hasil pengujian di laboratorium PT.Vira Jaya untuk rongga dalam campuran (*void in the mix*) campuran aspal setelah ditambahkan plastik PET cara basah dengan menggunakan agregat yang bersumber dari Kampar didapat nilai rongga dalam campuran (*void in the mix*) yang fluktuatif, dimana nilai rongga dalam campuran (VIM) untuk kadar penambahan plastik PET kadar 0%, 2% dan 3% didapat nilai

rongga dalam campuran 4,72 %, 3,38 % dan 4,85 %, dimana nilai ini memenuhi nilai yang ditetapkan didalam spesifikasi teknis 2018.

Nilai VIM untuk kadar penambahan plastik PET 4%, 6% dan 8% adalah 5,50 %, 5,71 %, dan 2.41 %. Nilai VIM untuk kadar 4% dan 6% ini tidak memenuhi ketentuan spesifikasi 2018 karena melebihi batas maksimal rongga dalam campuran yang dibolehkan di dalam spesifikasi teknis 2018 yakni batas maksimal 5 %. Ini menunjukkan bahwa penambahan plastik PET untuk kadar 4 % dan 6 % tidak bisa dipakai karena nilai VIM yang terlalu tinggi akan menyebabkan kelelahan yang semakin cepat, berupa alur dan retak. Nilai VIM yang terlalu tinggi ini akan menyebabkan campuran aspal menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran dan akan menyebabkan campuran aspal mudah teroksidasi.

Nilai VIM untuk penambahan plastik PET kadar 8% berada di bawah nilai minimal spesifikasi yaitu 2,41 %. Ini menunjukkan bahwa penambahan plastik PET untuk kadar 8% di dalam campuran aspal AC-WC penetrasi 40/50 type PG 76 dengan menggunakan agregat yang bersumber dari Kampar tidak dapat dipakai. Karena nilai VIM yang terlalu kecil akan mengakibatkan lapis kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran yang akan menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal akan menjadi rapuh. Hal ini akan menyebabkan campuran aspal dengan penambahan plastik kadar 8% mengalami masalah durabilitas. Karena VIM juga diperlukan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat aspal meleleh menjadi lunak akibat naiknya suhu udara.

Nilai VIM untuk penambahan plastik PET kadar 10% dan 12 % didapat nilai 4,08 % dan 3,00 %. Nilai VIM untuk kadar penambahan plastik 10% dan 12% memenuhi batas yang ditetapkan didalam spesifikasi teknis 2018. Untuk melihat hubungan rongga dalam campuran (VIM) dengan kadar plastik dapat dilihat pada gambar 5.11.



Gambar 5.11 Hubungan Kadar Plastik PET dan Nilai Rongga Dalam Campuran

Nilai VIM setelah dilakukan penambahan plastik PET pada aspal penetrasi 40/50 PG76 yang masih sesuai dengan ketentuan spesifikasi teknis 2018, dapat dipakai dan diaplikasikan karena dapat mengatasi pemadatan tambahan yang terjadi akibat repetisi beban lalu lintas.

5.5.5. Rongga terisi aspal (*Voids Filled Bitumen, VFB*)

Rongga terisi aspal adalah persen ruang diantara partikel agregat (VMA) yang terisi aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat, dinyatakan dalam persen terhadap VMA (SNI, 1991). Hasil pengujian penambahan kadar plastik PET cara basah terhadap rongga terisi aspal (VFB) dapat dilihat pada tabel 5.9.

Tabel 5.9. Hasil Perhitungan Rongga Terisi Aspal (VFB) untuk setiap Kadar Penambahan Plastik PET terhadap Spesifikasi Teknis 2018

Persentase Kadar Penambahan Plastik (%)	Spesifikasi Teknis 2018 Rongga Terisi Aspal (VFB)	Rongga Terisi Aspal (VFB) (%)	Keterangan
0%	Minimal 65 %	68.82	Memenuhi
2%		75.78	Memenuhi
3%		68.19	Memenuhi
4%		65.24	Memenuhi
6%		64.37	Tidak Memenuhi
8%		81.60	Memenuhi
10%		71.98	Memenuhi
12%		77.93	Memenuhi

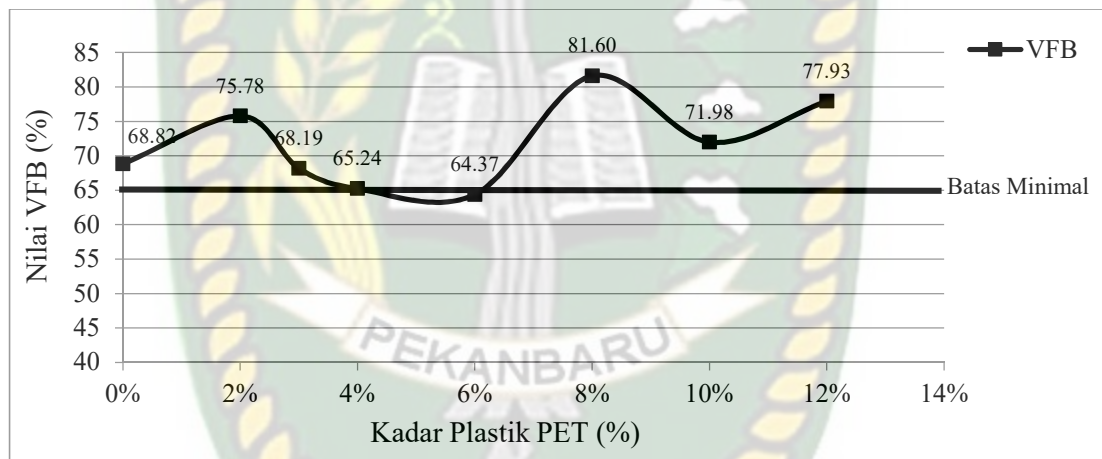
Nilai VFB setelah dilakukan pengujian penambahan plastik PET terhadap aspal penetrasi 40/50 PG76 dengan kadar tertentu dengan menggunakan agregat yang bersumber dari Kampar didapatkan nilai VFB yang fluktuatif. Nilai VFB untuk kadar penambahan plastik PET dengan cara basah 0%, 2% dan 3% didapat nilai 68,82 %, 75,78 % dan 68,19 %. Nilai VFB ini berada diatas batas minimal VFB berdasar spesifikasi teknis 2018 yakni minimal 65%. Nilai VFB untuk kadar penambahan plastik PET 4 % adalah 65,24 %, dimana nilai ini masih diatas batas minimal yang disyaratkan.

Nilai VFB untuk kadar penambahan plastik PET 6% adalah 64,37 %, nilai ini di bawah batas minimal yang diperbolehkan didalam spesifikasi teknis 2018, sehingga penambahan plastik PET dengan cara basah untuk kadar 6% tidak bisa dipakai, karena nilai VFB nya terlalu kecil dan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara hal ini akan menyebabkan campuran mudah retak bila

menerima penambahan beban dan akan menyebabkan aspal mudah teroksidasi dan lapisan aspal tidak akan tahan lama.

Nilai VFB untuk kadar penambahan plastik PET 8%, 10% dan 12% adalah 81,60 %, 71,98 % dan 77,93 %. Nilai VFB penambahan kadar plastik 8%, 10% dan 12% berada diatas batas minimal yang disyaratkan didalam spesifikasi teknis 2018 yakni minimal 65%.

Untuk melihat hubungan rongga terisi aspal (VFB) dengan kadar plastik dapat dilihat pada gambar 5.12.



Gambar 5.12 Hubungan Kadar Plastik PET dan Nilai Rongga Terisi Aspal (VFB)

Dari gambar 5.12 diatas dapat di lihat bahwa hasil pengujian penambahan plastik PET dengan berbagai kadar pada aspal keras penetrasi 40/50 PG76 didapatkan nilai VFB yang cenderung meningkat fluktuatif. Hal Ini menunjukkan bahwa dengan penambahan plastik PET dapat mengisi rongga dalam campuran yang terisi aspal. Sehingga kedekatan campuran terhadap air dan udara juga akan semakin tinggi, yang akan meningkatkan stabilitas dan durabilitas aspal. Hanya pada penambahan plastik

kadar 6% yang nilainya berada di bawah ketentuan spesifikasi teknis 2018. Campuran dengan kadar 6% ini tidak dapat di pakai karena akan menyebabkan campuran mudah retak bila menerima penambahan beban dan akan menyebabkan aspal mudah teroksidasi dan lapisan aspal tidak akan tahan lama.

5.5.6. Kepadatan Membal (*Density Refusal*)

Kepadatan membal (*density refusal*) adalah kepadatan maksimum dari suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan yang di peroleh dari hasil pengujian (RSNI, 2003). Hasil perhitungan kepadatan membal dapat di lihat pada tabel 5.10.

Tabel 5.10. Hasil Perhitungan Kepadatan Membal (*Density Refusal*) untuk setiap Kadar Penambahan Plastik PET terhadap Spesifikasi Teknis 2018

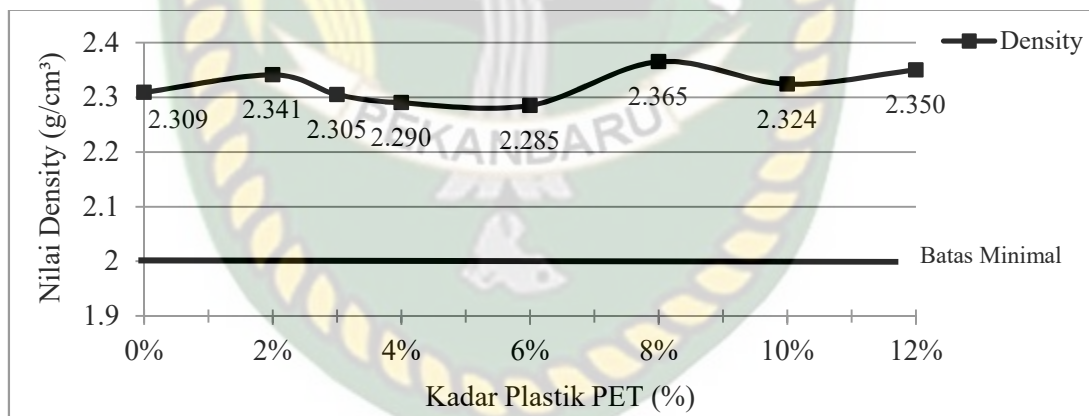
Persentase Kadar Penambahan Plastik (%)	Spesifikasi Teknis 2018 Untuk Nilai Density Aspal Keras PG 76	Hasil Perhitungan Density (g/cm ³)	Keterangan
0%	Minimal 2 (g/cm ³)	2.309	Memenuhi
2%		2.341	Memenuhi
3%		2.305	Memenuhi
4%		2.290	Memenuhi
6%		2.285	Memenuhi
8%		2.365	Memenuhi
10%		2.324	Memenuhi
12%		2.350	Memenuhi

Hasil pengujian Density penambahan plastik PET dengan campuran agregat yang bersumber dari Kampar menggunakan pencampuran cara basah pada labor PT. Vira Jaya didapatkan nilai Density yang fluktuatif dan cenderung meningkat dan memenuhi ketentuan spesifikasi teknis 2018. Nilai-nilai density untuk semua kadar

penambahan plastik PET memenuhi ketentuan spesifikasi teknis 2018 yakni minimal 2. Nilai density penambahan kadar plastik 0%, 2% dan 3% adalah 2.309 g/cm³, 2.341 g/cm³ dan 2.305 g/cm³. Nilai Density untuk penambahan kadar plastik 4%, 6% dan 8% adalah 2.290 g/cm³, 2.285 g/cm³ dan 2.365 g/cm³. Nilai density untuk penambahan plastik 10% dan 12% didapat nilai 2.324 g/cm³ dan 2.350 g/cm³.

Nilai density yang cenderung naik pada kadar penambahan plastik PET dari 0% menunjukkan bahwa penambahan plastik *polyethylene* jenis PET merk Aqua menyebabkan penambahan pada berat isi campuran sehingga nilai *density* aspal penetrasi 40/50 PG76 menjadi bertambah.

Untuk melihat hubungan penambahan kadar plastik PET dengan nilai Density dapat dilihat pada gambar 5.13.



Gambar 5.13 Hubungan Kadar Plastik PET dan Nilai Density

Gambar 5.13 menunjukkan bahwa nilai density seluruh campuran dengan penambahan plastik PET menggunakan agregat yang bersumber dari Kampar berada di atas ketentuan minimal yang ada di dalam spesifikasi teknis 2018. Dimana nilai minimal density menurut spesifikasi teknis adalah 2 g/cm³. Nilai density yang tinggi

menunjukkan bahwa kerapatan campuran sangat baik sehingga mampu menahan beban yang lebih besar di bandingkan campuran yang nilai densitynya rendah. Hal tersebut di sebabkan karena butiran agregat mempunyai bidang kontak yang luas sehingga gaya gesek (*friction*) antar butiran agregat menjadi besar.

5.5.7. Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient (MQ) adalah hasil bagi stabilitas dengan pelelehan (*flow*) (RSNI, 2003). Nilai Marshall Quotient (MQ) untuk setiap kadar penambahan plastik PET untuk aspal penetrasi 40/50 PG76 dapat dilihat pada tabel 5.11.

Tabel 5.11 Hasil Perhitungan Marshall Quotient untuk setiap Kadar Penambahan Plastik PET terhadap Spesifikasi Teknis 2018

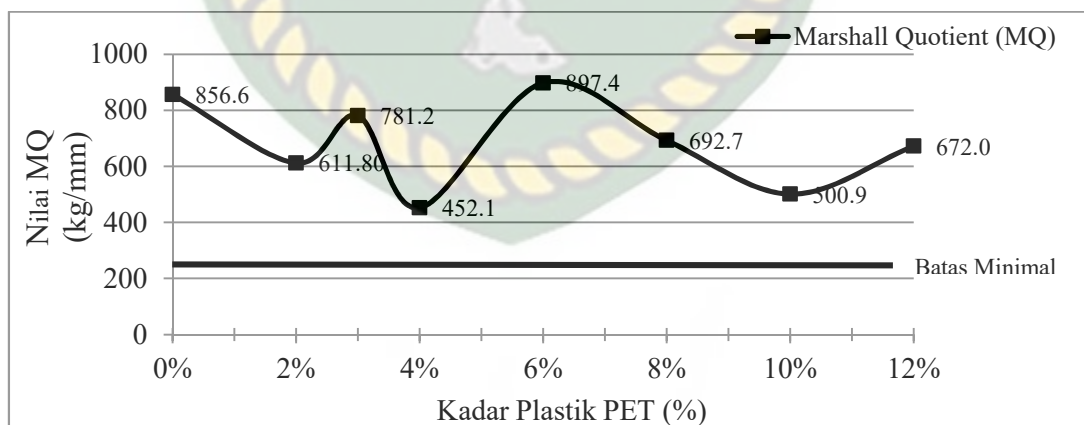
Persentase Kadar Penambahan Plastik (%)	Spesifikasi Teknis 2018 Untuk Nilai Marshall Quotient (kg/mm)	Hasil Pengujian MQ (kg/mm)	Keterangan
0%	Minimal 250	856.6	Memenuhi
2%		611.8	Memenuhi
3%		781.2	Memenuhi
4%		452.1	Memenuhi
6%		897.4	Memenuhi
8%		692.7	Memenuhi
10%		500.9	Memenuhi
12%		672.0	Memenuhi

Nilai MQ untuk setiap penambahan kadar plastik PET dengan cara basah pada aspal penetrasi 40/50 PG76 pada laboratorium PT. Vira Jaya didapat nilai yang fluktuatif. Nilai MQ untuk penambahan kadar plastik 0%, 2% dan 3% adalah 856,6 kg/mm, 611,8 kg/mm dan 781,2 kg/mm. Nilai MQ ini masih sesuai dengan ketentuan didalam spesifikasi teknis 2018. Nilai MQ untuk penambahan kadar plastik 4%, 6%

dan 8% didapat nilai 452,1 kg/mm, 897,4 kg/mm dan 692,7 kg/mm. Nilai ini juga menunjukkan peningkatan dibandingkan dengan tanpa penambahan plastik 0%.

Nilai MQ untuk penambahan kadar plastik 10% dan 12% adalah 500,9 kg/mm dan 672,0 kg/mm. Diketahui dari hasil pengujian bahwa penambahan plastik PET pada aspal penetrasi 40/50 PG76 dapat menurunkan kekakuan dari aspal keras penetrasi 40/50 PG76. Sehingga aspal yang dihasilkan akibat penambahan plastik PET ini nilai Marshall Quotientnya mengalami penurunan dibandingkan tanpa penambahan 0 % kadar plastik PET.

Nilai MQ yang cenderung menurun ini tetapi masih diatas ketentuan minimal sesuai spesifikasi teknis 2018 menyebabkan campuran semakin lentur dan plastis. Sehingga mudah mengalami perubahan bentuk saat menerima beban lalu lintas yang tinggi dibandingkan tanpa penambahan kadar 0% plastik PET. Untuk melihat hubungan nilai Marshall Quotient dengan penambahan kadar plastik dapat dilihat pada gambar 5.14.



Gambar 5.14 Hubungan Nilai Marshall Quotient Dengan Penambahan Kadar Plastik



Pada gambar 5.14 memperlihatkan nilai MQ campuran aspal dengan plastik PET menggunakan agregat yang bersumber dari Kampar nilainya di atas ketentuan minimal yang di syaratkan di dalam spesifikasi teknis 2018. Syarat minimal nilai MQ menurut spesifikasi teknis adalah 250 kg/mm. Nilai MQ yang tinggi menunjukkan tingginya kekakuan campuran aspal dan plastik PET menggunakan agregat yang bersumber dari Kampar.

5.6. Hasil Perhitungan Gabungan Nilai Karakteristik Marshall

Tabel 5.12 Hasil Perhitungan Gabungan Nilai Karakteristik Marshall terhadap Spesifikasi Teknis 2018

Kadar Plastik	Hasil Uji Marshall Campuran PET dan Aspal Penetrasi 40/50 PG76								
	Suhu 160 (°C)								
	VIM	VMA	VFB	Stabilitas	Flow	Density	MQ	Penetrasi	Daktilitas
0%	4.72	15.13	68.82	2598.4	3.03	2.309	856.6	50	80
2%	3.38	13.94	75.78	2406.4	3.93	2.341	611.8	99	100
3%	4.85	15.25	68.19	2656	3.40	2.305	781.2	111	115
4%	5.50	15.83	65.24	1868.8	4.13	2.290	452.1	86	110
6%	5.71	16.01	64.37	2752	3.07	2.285	897.4	117	103
8%	2.41	13.07	81.60	2355.2	3.40	2.365	692.7	68	85
10%	4.08	14.57	71.98	1920	3.83	2.324	500.9	79	93
12%	3.00	13.61	77.93	2508.8	3.73	2.350	672.0	80	90
SPESIFIKASI TEKNIS 2018									
	Min.3 % Max.5 %	Min. 15 (%)	Min. 65 (%)	Min. 1000 (kg)	Min 2 - Max.4 (mm)	Min 2 (g/cm ³)	Min 250 kg/mm	≥ 50 mm	≥25 cm

Keterangan :

-  = Semua Nilai Sesuai Ketentuan
-  = Nilai Tidak Sesuai Ketentuan

Hasil uji Marshall yang didapatkan setelah dilakukan percobaan penambahan plastik PET bekas botol minuman merek Aqua. Kadar 2 %, 3 %, 4 %, 6 %, 8 %, 10 % dan 12 % dengan material agregat yang bersumber dari Kampar dengan memakai Lapis Aspal Beton AC-WC penetrasi 40/50 type PG76. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar penambahan plastik yang ideal dan memenuhi semua ketentuan batas-batas yang ditetapkan didalam spesifikasi teknis 2018 tentang nilai karakteristik marshall yaitu nilai VIM, VMA, VFB, Stabilitas, *Flow*, *Density*, MQ, Penetrasi dan Daktilitas adalah kadar 3% penambahan plastik PET.

5.7. Perbandingan dengan Percobaan Terdahulu

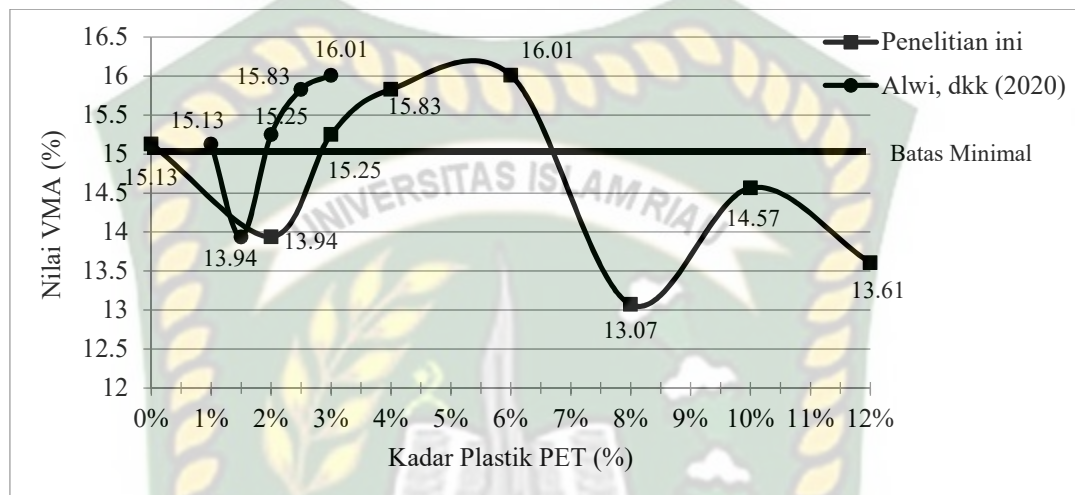
Dari hasil pengujian pencampuran aspal keras Pen. 40/50 dengan limbah plastik PET menggunakan material yang bersumber dari Kampar didapat data-data sebagai berikut :

1. Penambahan kadar plastik PET 2 % didapat nilai VIM 3,38 %, nilai VMA 13,94, nilai VFB 75,78 %, nilai Stabilitas 2406,4 kg dan nilai pelelehan (*flow*) 3,93 mm.

Dari keseluruhan hasil pengujian penambahan kadar plastik 2 %, didapat nilai VMA tidak sesuai ketentuan karena minimal adalah 15 %.

Berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Alwi, dkk, (2020) bahwa dengan penambahan plastik PET kadar 2 % pada campuran aspal penetrasi 60/70 dengan kadar aspal 5.63 %. Hasil pengujian Alwi, dkk, (2020) menunjukkan nilai

VMA yang didapat untuk penambahan 2% kadar plastik PET yakni 15,79 % masih sesuai ketentuan didalam spesifikasi teknis 2018. Hubungan Nilai VMA dengan Kadar Plastik terhadap percobaan Alwi, dkk (2020) dapat dilihat pada gambar 5.15.



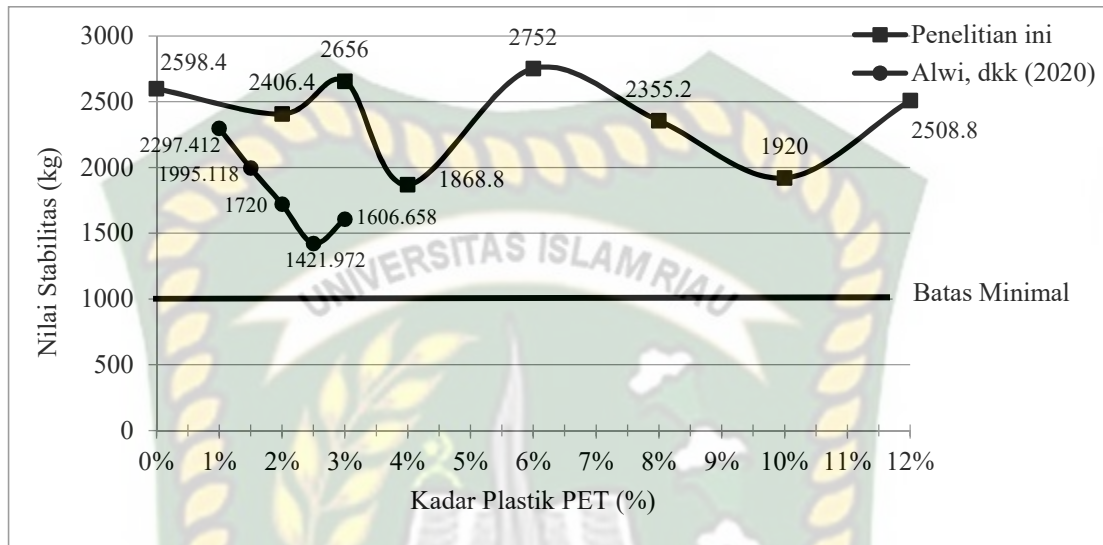
Gambar 5.15 Hubungan Nilai VMA dengan Kadar Plastik Terhadap Percobaan Alwi, dkk (2020)

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, bahwa penambahan kadar plastik PET 2 % untuk aspal penetrasi 40/50 type PG76 menggunakan agregat yang bersumber dari Kampar dengan kadar aspal 5.5 % tidak direkomendasikan untuk diaplikasikan dilapangan. Karena nilai VMA yang berada dibawah ketentuan akan berpengaruh terhadap kinerja campuran dan akan menyebabkan campuran mengalami masalah Durabilitas.

2. Penambahan kadar plastik PET 3 % didapat nilai VIM 4,85 %, nilai VMA 15,25, nilai VFB 68,19 %, nilai Stabilitas 2656 kg dan nilai pelelehan (*flow*) 3,40 mm.

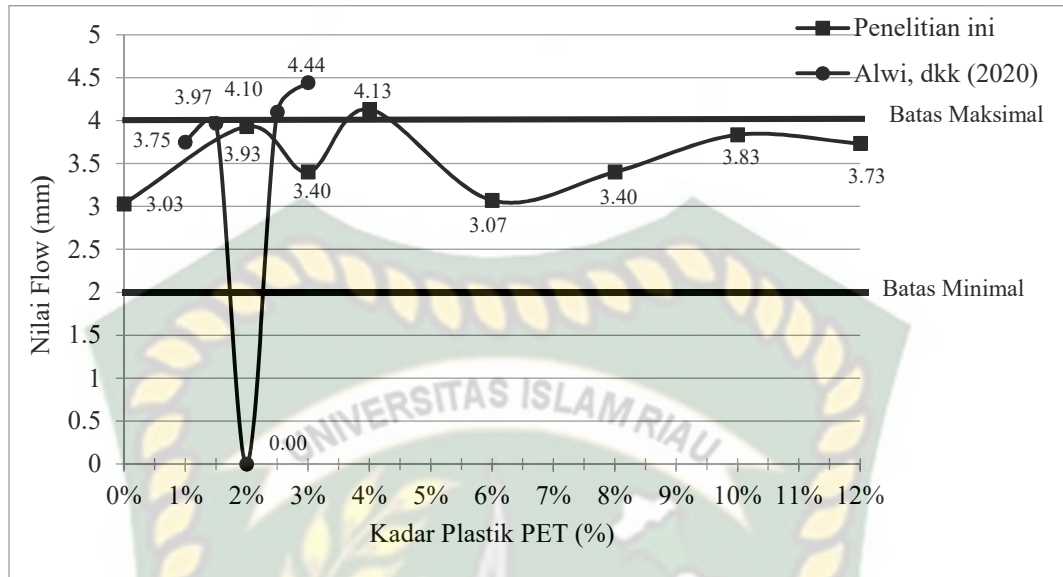
Dari keseluruhan hasil uji penambahan kadar plastik 3 %, keseluruhan nilai pengujian Marshall yang didapat yaitu nilai VIM, VMA, VFB, Stabilitas dan

Pelelehan (*flow*) sesuai dengan ketentuan spesifikasi teknis 2018. Hubungan kadar PET dan stabilitas dapat di lihat pada gambar 5.16.



Gambar 5.16 Hubungan Kadar Plastik PET dengan Nilai Stabilitas Terhadap Penelitian Alwi, dkk (2020)

Berbeda dengan penelitian Alwi, dkk (2020) pada Gambar 5.16 diatas menunjukkan bahwa nilai stabilitas penambahan plastik PET pada campuran aspal AC-WC Penetrasi 40/50 dengan menggunakan agregat kasar dan halus yang bersumber dari Kampar nilai stabilitasnya lebih baik di bandingkan penggunaan plastik PET pada aspal 60/70 yang dilakukan Alwi, dkk (2020). Nilai stabilitas yang lebih tinggi dari penelitian Alwi, dkk (2020) ini menunjukkan bahwa penambahan plastik PET pada campuran aspal dengan agregat yang bersumber dari Kampar meningkatkan daya ikat aspal dan agregat. Sehingga agregat saling mengunci yang diharapkan dapat mengurangi kerusakan jalan seperti pelepasan butiran, pengelupasan yang di akibatkan genangan air dan kelembapan.



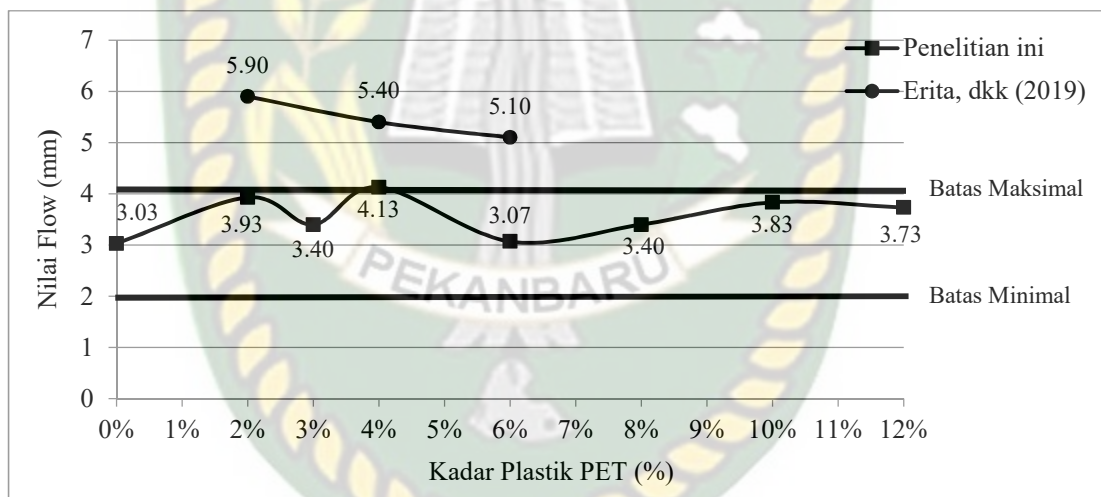
Gambar 5.17 Hubungan Kadar Plastik PET dengan Nilai Pelelehan terhadap Penelitian Terdahulu Alwi, dkk (2020)

Berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Alwi, dkk, (2020) bahwa dengan penambahan plastik PET kadar 3 % pada campuran aspal penetrasi 60/70 dengan kadar aspal 5.63 % menunjukkan nilai pelelehan (*flow*) yang di dapatkan yakni 4,66 mm. Hal ini melebihi batas maksimal spesifikasi teknis 2018 yaitu 4 mm.

Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar penambahan plastik PET pada aspal keras penetrasi 40/50 dengan menggunakan material yang bersumber dari Kampar yang ideal dan memenuhi semua ketentuan karakteristik marshall yang tercantum didalam spesifikasi teknis 2018 yaitu nilai VIM, VMA, VFB, pelelehan, MQ dan *refusal density* adalah kadar 3% penambahan plastik PET.

3. Penambahan kadar plastik PET 4 % didapat nilai VIM 5,50 %, nilai VMA 15,83, nilai VFB 65,24 %, nilai Stabilitas 1868,8 kg dan nilai pelelehan (*flow*) 4,13 mm.

Dari keseluruhan hasil pengujian penambahan kadar plastik 4 %, didapat nilai pelelehan (*flow*) tidak sesuai dengan ketentuan maksimal nilai *flow* yang disyaratkan. Sesuai ketentuan spesifikasi teknis 2018 nilai *flow* maksimal adalah 4 %. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan Erita, dkk (2019) pada campuran aspal penetrasi 60/70 dengan menggunakan aspal pori (*flow* min.2–6 mm) dengan kadar aspal 5 % dan agregat kasar dan halus yang bersumber dari Tanjung Balai Karimun menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai pelelehan (*flow*) seiring dengan peningkatan persentase kadar PET. Hubungan kadar plastik PET dengan nilai pelelehan (*flow*) terhadap penelitian Erita, dkk (2019) dapat dilihat pada gambar 5.18.



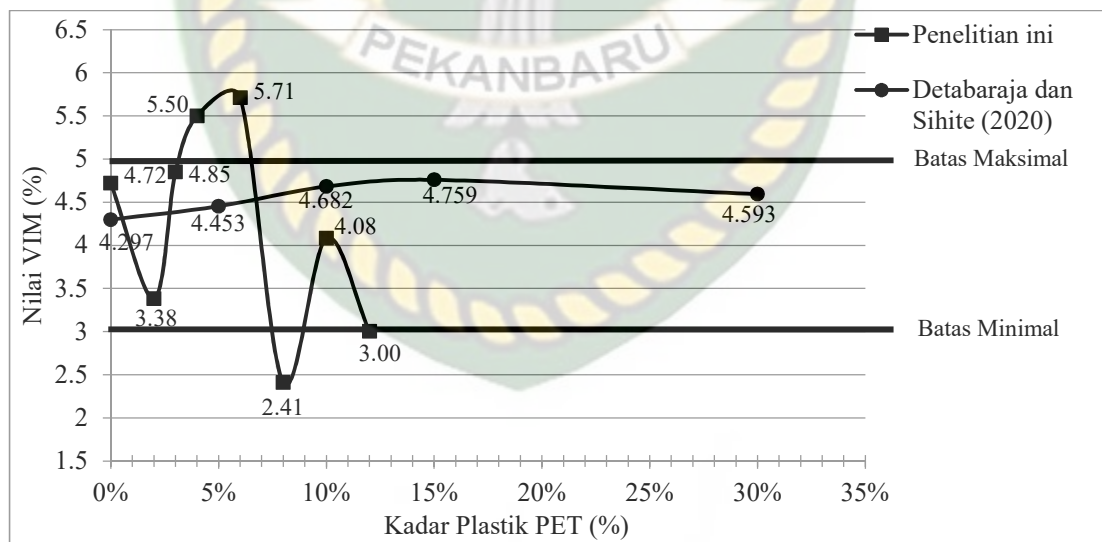
Gambar 5.18 Hubungan Kadar Plastik PET Dengan Nilai Pelelehan (*Flow*) Terhadap Penelitian Erita, dkk (2019)

Berdasarkan hasil pengujian, penambahan kadar plastik PET 4 % untuk aspal penetrasi 40/50 type PG76 dengan menggunakan agregat kasar dan halus yang bersumber dari Kampar tidak direkomendasikan untuk diaplikasikan dilapangan.

Karena nilai pelelehan (*flow*) yang berada diatas ketentuan akan menyebabkan campuran mengalami Deformasi yang berlebihan.

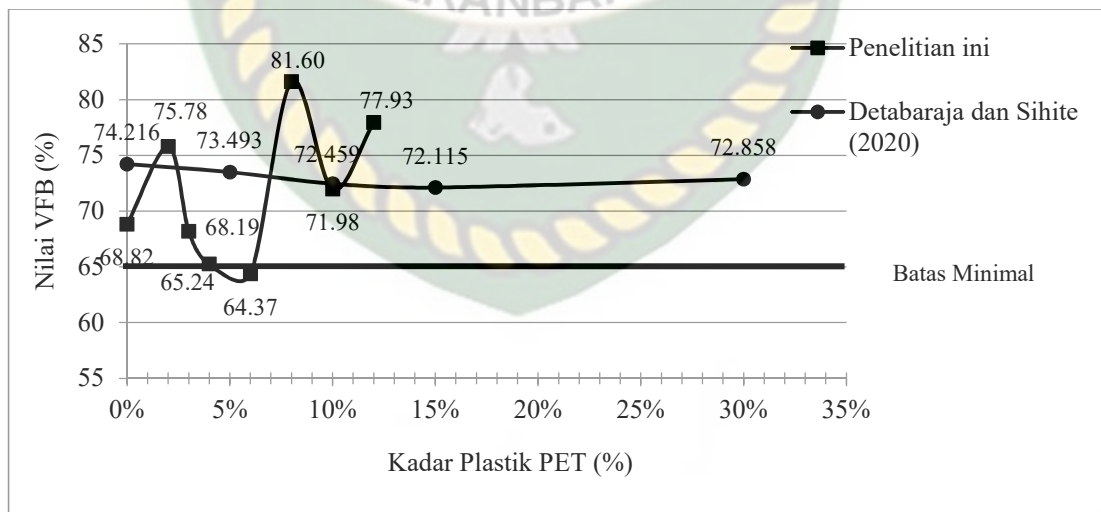
4. Penambahan kadar plastik PET 6 % didapat nilai VIM 5,71 %, nilai VMA 16,01, nilai VFB 64,37 %, nilai Stabilitas 2752 kg dan nilai pelelehan (*flow*) 3,07 mm.

Dari keseluruhan hasil pengujian penambahan kadar plastik 6 %, didapat nilai VIM dan VFB yang tidak sesuai spesifikasi teknis 2018. Dimana nilai VIM maksimal adalah 5 % dan nilai VFB minimal 65 %. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Debararaja dan Sihite (2020) pada campuran aspal penetrasi 60/70 dengan kadar aspal 5.4 % menunjukkan bahwa dengan bertambahnya kadar plastik PET pada campuran aspal maka nilai VIM akan semakin besar. Untuk melihat hubungan kadar plastik PET dengan nilai VIM terhadap penelitian Debararaja dan Sihite (2020) dapat di lihat pada gambar 5.19.



Gambar 5.19 Hubungan Kadar Plastik PET Dengan Nilai VIM Terhadap Penelitian Debararaja Dan Sihite (2020)

Berdasarkan hasil pengujian, penambahan kadar plastik PET 6 % untuk aspal penetrasi 40/50 type PG76 tidak direkomendasikan untuk diaplikasikan dilapangan. Karena nilai rongga dalam campuran (VIM) yang berada diatas ketentuan akan menyebabkan campuran mengalami kelelahan yang semakin cepat, berupa alur dan retak. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi. Begitu juga dengan nilai rongga terisi aspal (VFB) dibawah nilai minimal yang disyaratkan. Hal ini akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara karena lapisan film aspal akan menjadi tipis dan akan mudah retak bila menerima penambahan beban sehingga campuran aspal mudah teroksidasi yang akhirnya menyebabkan lapis perkerasan tidak tahan lama. Untuk melihat hubungan nilai kadar plastik PET dengan nilai rongga terisi aspal (VFB) terhadap penelitian Detabaraja dan Sihite (2020) dapat dilihat pada gambar 5.20.



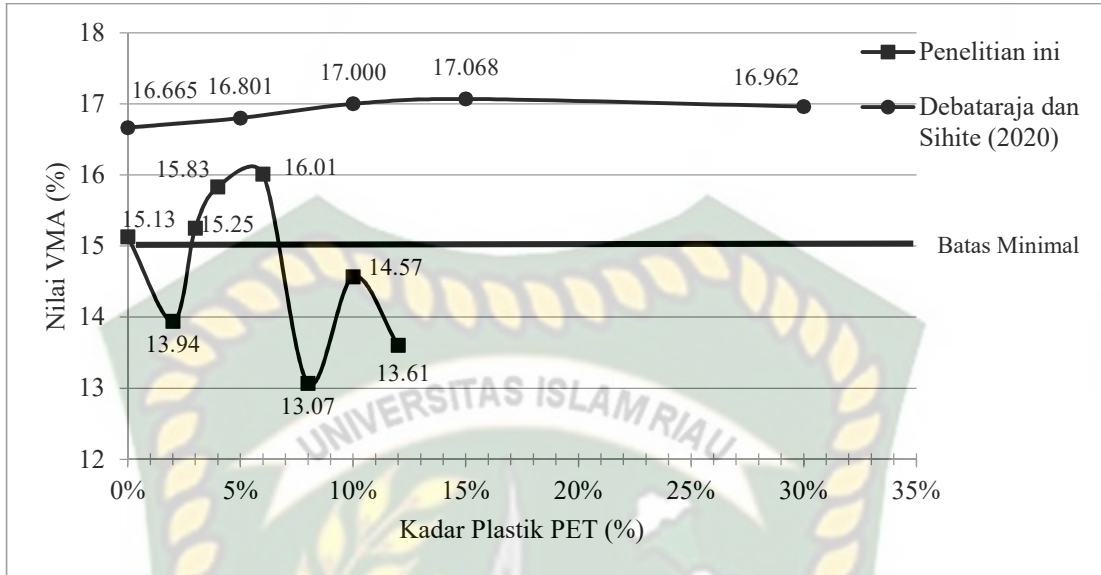
Gambar 5.20 Hubungan nilai kadar plastik PET dengan nilai VFB terhadap penelitian Detabaraja dan Sihite (2020)

5. Penambahan kadar plastik PET 8 %, 10 % dan 12 % didapat nilai VIM 2,41 %, 4,08 %, dan 3 %. Nilai VMA 13,07, 14,57 dan 13,61 % nilai VFB 81,60 %, 71,98 % dan 77,93 %. Nilai Stabilitas 2355,2 kg 1920 kg dan 2508,8 dan nilai pelelehan (*flow*) 3,40 mm, 3, 83 mm dan 3,73 mm.

Dari keseluruhan hasil pengujian penambahan kadar plastik PET 8 %, didapat nilai VIM tidak sesuai ketentuan yaitu 2,41 % karena minimal menurut spesifikasi teknis 2018 adalah 3 %. Begitu juga dengan nilai VMA penambahan kadar plastik PET 8 % dan 12 % di dapat nilai di bawah batas minimal spesifikasi teknis yaitu 13,07 % dan 13. 61 % karena minimalnya adalah 15 %.

Nilai VIM dan nilai VMA yang berada di bawah ketentuan spesifikasi teknis 2018 ini tentu tidak baik untuk campuran aspal penetrasi 40/50 type PG 76 dengan menggunakan agregat yang berasal dari Kampar. Jika nilai VIM dan VMA ini kecil sementara nilai VFB nya tinggi maka campuran aspal akan mengalami *bleeding* cukup besar.

Berbeda dengan penelitian yang dilakukan Debataraja dan Sihite (2020) yang menyatakan pada campuran aspal penetrasi 60/70 dengan kadar aspal 5.4% menunjukkan bahwa dengan penambahan plastik PET terjadi peningkatan nilai VMA. Dan pada penambahan plastik PET kadar 30% terjadi penurunan nilai VMA. Untuk melihat hubungan kadar plastik dengan nilai VMA terhadap penelitian Debataraja dan Sihite (2020) dapat dilihat pada gambar 5. 22.



Gambar 5. 22 Hubungan kadar plastik dengan nilai VMA terhadap penelitian Debataraja dan Sihite (2020)

Penambahan kadar plastik PET pada kadar 8 %, 10 % dan 12 % tidak direkomendasikan untuk diaplikasikan dilapangan. Karena nilai VMA yang berada dibawah ketentuan spesifikasi teknis 2018 akan berpengaruh terhadap kinerja campuran dan akan menyebabkan campuran mengalami masalah Durabilitas.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang dilakukan terhadap penambahan plastik PET dengan kadar 0 %, 2 %, 3 %, 4 %, 6 %, 8 %, 10 % dan 12 % terhadap campuran aspal Laston AC Penetrasi 40/50 type PG76 dengan menggunakan agregat kasar dan agregat halus yang bersumber dari Kampar dapat diambil kesimpulan yaitu :

1. Kadar plastik PET yang paling ideal dan memenuhi ketentuan spesifikasi teknis 2018 setelah dilakukan pengujian Karakteristik Marshall pencampuran dengan aspal penetrasi 40/50 type PG76 dengan menggunakan agregat kasar dan halus yang bersumber dari Kampar adalah pada kadar 3% penambahan plastik PET.
2. Penggunaan plastik PET bekas botol minuman merk Aqua sebagai bahan tambah didalam campuran Laston AC-WC penetrasi 40/50 type PG76 menggunakan agregat kasar dan halus yang bersumber dari Kampar dapat meningkatkan stabilitas di bandingkan tanpa penambahan plastik PET kadar 0 %, kepadatan membal (*density refusal*), dan Marshall Quotient (MQ). Sementara pelelehan (flow), rongga dalam agregat (VMA), rongga dalam campuran (VIM), rongga terisi aspal (VFB) terjadi peningkatan akan tetapi cenderung fluktuatif dan dari hasil pengujian dan perhitungan ada yang tidak memenuhi ketentuan berdasarkan spesifikasi teknis 2018.
3. Pemanfaatan plastik PET bekas botol minuman sebagai campuran aspal beton penetrasi 40/50 type PG76 dapat meningkatkan nilai penetrasi dan

daktalitas aspal keras secara fluktuatif. Sehingga mempengaruhi sifat aspal keras yang akan menjadi lunak.

4. Penggunaan limbah plastik botol minuman merk Aqua pada Laston AC-WC aspal Penetrasi 40/50 dengan menggunakan agregat kasar dan halus yang bersumber dari Kampar dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah didalam pelaksanaan pekerjaan Laston AC-WC

6.2. Saran

Setelah dilakukan pengujian dan perhitungan dari penggunaan plastik PET bekas botol minuman merk Aqua sebagai bahan tambah laston AC-WC penetrasi 40/50 type PG76 dengan menggunakan agregat kasar dan halus yang bersumber dari Kampar, maka didapatkan beberapa hal yang perlu menjadi bahan masukan untuk penelitian yang sama dimasa yang akan datang yaitu :

1. Perlunya dilakukan penelitian lebih lanjut tentang homogenitas campuran sehingga dapat diketahui kerataan campuran aspal dan plastik PET dalam setiap sample pengujian.
2. Metode pencampuran basah lebih mudah diterapkan, akan tetapi diperlukan alat pengaduk mekanis yang tepat yang akan melakukan pengadukan yang simultan terus menerus ketika melakukan pencampuran aspal dan plastik PET sehingga diperoleh campuran yang homogen.
3. Hal ini diperlukan menyangkut pelaksanaan penggunaan plastik dalam kegiatan pelaksanaan jalan sehingga dihasilkan struktur jalan yang stabil dan memiliki umur layanan yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Alwi, S., Sudiby, A, dan Herni M, T., 2020, *Pengaruh Penggunaan Plastik Pet (Polyethylene Terephthalate) Pada Campuran Aspal Ac-Wc Terhadap Karakteristik Marshall*” Jurnal Inersia, Teknik Sipil Vol. XII No. 1 (2020) Maret, Politeknik Negeri Samarinda.
- Debataraja, S, M, T, dan Sihite, N., 2020, “*Pengaruh Penambahan Plastik Bekas Tipe Polyethylene Terephthalate (Pet) Terhadap Daya Lekat Campuran Laston Lapis Ac-Wc*”Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, Vol.9 No. 1 (2020) Februari ; 59-69, Universitas Darma Agung, Medan.
- Erita, C, A.,Guswandi dan Lizar., 2019, “*Pengaruh Pencampuran Limbah Plastik Pet (Polyethylene Terephthalate) Terhadap Nilai Marshall Aspal Pori*” Jurnal Teknik Sipil Dan Aplikasi (Tekla), Vol. 1, No. 1, Juli 2019, Politeknik Negeri Bengkalis, Riau
- Fikri, H.,Subagja, A dan Manurung, A.S.D.,2017, “*Karakteristik Aspal Modifikasi dengan penambahan Limbah Botol Plastik Polyethylene Terephthalate (PET)*”.Prosiding 10th Industrial Research Workshop and National Seminar, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung
- Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga., 2018, “*Spesifikasi Umum 2018*”, Pusjatan-Balitbang PU.
- Kementerian Pekerjaan Umum Balitbang dan BBJN VIII Surabaya., 2017, Buku “*Penerapan Skala Penuh Tegnologi aspal Limbah Plastik* ”, Balitbang PU.
- Lapian, F, E, P.,Ramli M, I.,Pasra, M. dan Arsyad, A., 2019, “*Pengaruh Limbah Plastik Pet (Polyethylene Terephthalate) Terhadap Nilai Kadar Aspal Optimum Campuran Ac-Wc*” Prosiding Konfrensi Nasional, (KNPTS) X, Bandung, 5 November 2019, ISSN 2477-00-86
- Mujiarto, I., 2005, “*Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif*”, Traksi. Vol.3.No.2, Desember 2005, AMNI Semarang.
- Nasution, N, F, N., Muis, Z, A. dan Lubis, A, S., 2017, “*Pengaruh Penambahan Plastik Pet (Polyethylene Terephthalate) Terhadap Karakteristik Campuran Laston Ac -Wc Di Laboratorium*”, Skripsi, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
- Nasution, N, F, N.,2017, “*Pengaruh Penambahan Plastik Pet (Polyethylene Terephthalate) Terhadap Karakteristik Campuran Laston Ac -Wc Di Laboratorium*”, Skripsi Sarjana, Departemen Teknik Sipil, Repositori Institusi, Universitas Sumatera Utara

- Purnamasari,,E.P. dan Suryaman, F., 2010,”*Pengaruh Penggunaan Limbah Botol Plastik Sebagai Bahan Tambah Terhadap Karakteristik Lapis Aspal Beton (Laston)*,”Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 4 (KoNTekS 4), Sanur-Bali, 2-3 Juni, Universitas Atmajaya Yogyakarta.
- RSNI., 2003. *Metode pengujian campuran beraspal panas dengan alat marshall*, Pustran, Balitbang PU, Kementerian Pekerjaan Umum.
- Sukirman, S., 1999. *Buku Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Nova, Bandung.
- Sukirman, S., 2003. *Buku Beton Aspal – Campuran Panas, Granit*, Jakarta.
- Sulaksono, S., 2001, *Buku Rekayasa Jalan*, Penerbit Institut Teknologi Bandung.
- SNI., 2008. “*Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles*”, Jakarta, Balitbang, Kementerian Pekerjaan Umum.
- SNI., 2008. “*Cara uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*”, Jakarta, Balitbang, Kementerian Pekerjaan Umum.
- SNI., 2012. *Metode Uji Penentuan Persentase Butir Pecah Pada Agregat Kasar*, Jakarta : BSN, Kementerian Pekerjaan Umum.
- SNI., 2014. *Tata Cara Pengambilan Contoh Uji Agregat* ,Jakarta : BSN. Kementerian Pekerjaan Umum.
- SNI., 2014. *Tata Cara Pengambilan Contoh Uji Agregat* ,Jakarta : BSN. Kementerian Pekerjaan Umum.
- SNI., 1991. *Metode pengujian campuran beraspal panas dengan alat marshall*, Pustran, Balitbang PU, Kementerian Pekerjaan Umum.
- SNI., 2011. *Cara Uji Penetrasi Aspal*, Badan Standarisasi Nasional, Kementerian Pekerjaan Umum.
- SNI., 2011. *Cara Uji Daktilitas*, Badan Standarisasi Nasional, Kementerian Pekerjaan Umum.
- Wiyono, S.,2009. *Aspek Hukum Konstruksi*, Penerbit UIR Press, Pekanbaru