

TESIS

PENGARUH PENCAMPURAN LIMBAH PLASTIK JENIS LDPE (*LOW DENSITY POLY ETHILEN*) PADA LASTON AC-WC MATERIAL KAMPAR TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL

Diajukan Guna Memenuhi Syarat Dalam Mencapai
Derajat Magister Teknik (M.T.)

Oleh:

KHAIRIL ANWAR
NPM. 183122014

Diajukan kepada:

PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK SIPIL

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2021

PENGARUH PENCAMPURAN LIMBAH PLASTIK JENIS LDPE (*LOW DENSITY POLY ETHILEN*) PADA LASTON AC-WC MATERIAL KAMPAR TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL

Yang dipersiapkan dan disusun oleh

KHAIRIL ANWAR
NPM 183 122 014

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

Pembimbing Utama

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

Penguji

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

PENGARUH PENCAMPURAN LIMBAH PLASTIK JENIS LDPE (LOW DENSITY POLY ETHILEN) PADA LASTON AC-WC MATERIAL KAMPAR TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL

Yang dipersiapkan dan disusun oleh

KHAIRIL ANWAR

NPM 183 122 014

Program Studi : Magister Teknik Sipil

Bidang Kajian : Aspal

Telah dipertahankan didepan Dewan Penguji

Pada Tanggal 30 Juli 2021

Dan dinyatakan :

DEWAN PENGUJI:

Ketua Penguji:


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

Anggota Penguji I


Dr. Anas Puri, ST., MT

Anggota Penguji II


Dr. Elzar, 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 28281 Riau
Telp. (+62) (761) 67-1717 - 70-17726 Fax. (+62) (761) 67-1717

NOMOR 144/KPTS/PPS/2020
**TENTANG PENUNJUKAN PEMBIMBING PENULISAN TESIS MAHASISWA
PROGRAM MAGISTER (S2) TEKNIK SIPIL PPS UIR**

DIREKTUR PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS ISLAM RIAU

- bang
- 1 Bahwa penulisan tesis merupakan tugas akhir dan salah satu syarat bagi 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
- gat
- 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 **KHAIRIL ANWAR**
 N P M **183122014**
 Program Studi **MAGISTER TEKNIK SIPIL**
 Judul Proposal Tesis **PENGARUH PENCAMPURAN LIMBAH PLASTIK JENIS LDPE (Low Density Poly Ethilen) PADA LASTON AC-WC MATERIAL KAMPAR TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL**

- 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

PEKANBARU
31 Maret 2020

DITETAPKAN DI
PADA TANGGAL
Direktur

Dr. Ir. Saipul Bahri, M.Ec.
NPK 921102199

disampaikan kepada

Kapal Rektori Universitas Islam Riau di Pekanbaru
Ketua Program Magister (S2) Teknik Sipil PPS UIR di Pekanbaru

Dokumen ini adalah Arsip Milik:

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, 30 Juli 2021



KHAIRIL ANWAR



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: 124/A-UIR/5-PPs/2021

Program Pascasarjana Universitas Islam Riau menerangkan:

Nama : **KHAIRIL ANWAR**
NPM : **183122014**
Program Studi : **Magister Teknik Sipil**

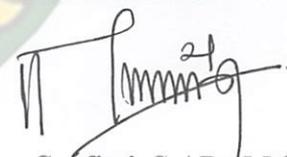
Telah melalui proses pemeriksaan kemiripan karya ilmiah (tesis) menggunakan aplikasi *Turnitin* pada tanggal 03 Juli 2021 dan dinyatakan memenuhi syarat batas maksimal tingkat kemiripan tidak melebihi 30 % (tiga puluh persen).

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

Mengetahui
Ketua Prodi. Magister Teknik Sipil


Dr. Elzar, 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 11:26 WIB

ID: 1630494162

Word Count: 15992

Submitted: 1

PENGARUH PENCAAMPURAN LIMBAH PLASTIK JENIS LDPE

(LOW DENSITY POLY ETHILEN) PADA LASTON AC-WC MATERIAL KAMPAR TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL By Khairil Anwar

3% match (Internet from 28-Nov-2019)

<https://id.123dok.com/document/myj14v6y-tinjauan-pustaka-pengaruh-penggunaan-limbah-botol-plastik-sebagai-bahan-tambah-additive-terhadap-karakteristik-beton-aspal.html>

1% match (Internet from 02-Jun-2021)

<https://adoc.pub/karakteristik-campuran-ac-wc-dengan-penambahan-limbah-plasti.html>

Similarity Index

17%

Similarity by Source

Internet Sources:	16%
Publications:	6%
Student Papers:	11%

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

<https://adoc.pub/pengaruh-penggunaan-limbah-botol-plastik-sebagai-bahan-tamba.html>

1% match (Internet from 25-Nov-2020)

http://repository.its.ac.id/50923/1/10111310000066-Undergraduate_Theses.pdf

1% match (Internet from 11-Aug-2021)

https://repository.its.ac.id/55539/1/10111410000017-Undergraduate_Theses.pdf

1% match (Internet from 22-Jul-2021)

https://repository.its.ac.id/55850/1/10111410000049_Undergraduated_Theses.pdf

1% match (Internet from 28-Mar-2021)

<http://repositori.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/14494/140404092.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

1% match (Internet from 25-Nov-2020)

<http://repositori.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/16453/120404048.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

1% match (student papers from 30-Sep-2019)

Submitted to LL Dikti IX Turnitin Consortium on 2019-09-30

1% match (student papers from 21-Aug-2019)

Submitted to LL Dikti IX Turnitin Consortium on 2019-08-21

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Segala Puji Bagi Allah Tuhan Penguasa Alam, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah Nya sehingga penulisan tesis dengan judul Pengaruh Pencampuran Limbah Plastik Jenis LDPE (*Low Density Poly Ethilen*) Pada Laston AC-WC Material Kampar Terhadap Karakteristik Marshall ini dapat disusun dan terselesaikan untuk memenuhi persyaratan Magister Teknik di Program Pascasarjana Universitas Islam Riau, Pekanbaru.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penggunaan kadar plastik LDPE yang paling ideal dan memenuhi ketentuan Spesifikasi Teknis Bina Marga 2018 terhadap pencampuran lapis aspal beton AC-WC dengan menggunakan aspal penetrasi 40/50 type PG76 yang ditinjau terhadap pengujian Karakteristik Marshall.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penulisan tesis ini sangat jauh dari sempurna, sehingga penulis sangat mengharapkan saran yang berguna untuk penyempurnaan penulisan dimasa yang akan datang. Segala kritik dan saran membangun dari para penelaah sangat bermanfaat bagi penulis dalam penyempurnaan penulisan tesis ini.

Pekanbaru, Juli 2021

KHAIRIL ANWAR
NPM. 183 122 014

UCAPAN TERIMAKASIH

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Segala Puji Bagi Allah Tuhan Penguasa Alam, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia Nya sehingga penulisan tesis ini dapat disusun dan terselesaikan untuk memenuhi persyaratan Magister Teknik di Program Pascasarjana Universitas Islam Riau, Pekanbaru.

Dalam pelaksanaan penulisan tesis ini penulis telah banyak memperoleh arahan, bimbingan dan bantuan dari komisi pembimbing dan penguji. 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. Siti Rohani dan Ayahanda H. Alimuddin, Mama Mertua Hj. Rahmawati, SE beserta istri tersayang Dr. Dewi Krisna Yunda, M.Gizi, dan anakku Cinta Nabila Putri serta semua saudara dan keluarga 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, MT., Bapak Ronald Porwadi, ST, MT, dan Bapak Muhammar Faisal, ST, MT yang telah banyak membantu selama perkuliahan berlangsung;

9. 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.

Pekanbaru, Juli 2021

KHAIRIL ANWAR



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMAKASIH.....	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5

2.1	Umum	5
2.2	Penelitian Terdahulu	5
2.3	Keaslian Penelitian	14
BAB III	LANDASAN TEORI	16
3.1	Perkerasan Lentur	16
3.2	Agregat	19
3.3	Aspal	23
3.4	Plastik LDPE (<i>Low Density Poly Ethilen</i>).....	26
3.5	Plastik dan Perkerasan.....	27
3.6	Abrasi	28
3.7	Gradasi Gabungan	28
3.8	Karakteristik <i>Marshall Test</i>	29
3.9	Aspal Beton	38
BAB IV	METODE PENELITIAN	39
4.1	Umum	39
4.2	Lokasi Penelitian	39
4.3	Bahan	40
4.4	Peralatan	40
4.5	Rancangan Campuran	41
4.6	Tahapan Penelitian	42
4.7	Analisa Data	47
BAB V	HASIL DAN PEMBAHASAN	48

5.1	Umum	48
5.2	Abrasi	48
5.3	Gradasi Gabungan	49
5.4	Penetrasi	51
5.5	Daktilitas	53
5.6	Analisis Data <i>Marshall Test</i>	55
5.6.1	Stabilitas (<i>Stability</i>)	56
5.6.2	Pelelehan (<i>Flow</i>)	59
5.6.3	Rongga Dalam Agregat (<i>Void in Mineral Agregate</i>)	61
5.6.4	Rongga Dalam Campuran (<i>Void In The Mix</i>)	64
5.6.5	Rongga Terisi Aspal (<i>Void Filled with Bitumen, VFB</i>)	67
5.6.6	Rongga Dalam Campuran (%) Pada Kepadatan Membal (<i>Refusal</i>)	70
5.6.7	<i>Marshall Question</i> (MQ)	73
5.7	Hasil Analisis Gabungan Nilai Karakteristik Marshall	75
5.8	Perbandingan Dengan Percobaan Terdahulu	79
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	92
6.1	Kesimpulan	92
6.2	Saran	93

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 3.1	Ketentuan Agregat Kasar.....	21
Tabel 3.2	Ketentuan Agregat Halus.....	22
Tabel 3.3	Amplop gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal Jenis laston	22
Tabel 3.4	Hasil Pengujian Aspal Keras Shell Cariphalte PG 76 Curah & Drum	25
Tabel 3.5	Ketentuan limbah plastik hasil cacahan	27
Tabel 3.6	Amplop gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal Jenis laston	29
Tabel 3.7	Ketentuan-ketentuan untuk aspal keras.....	36
Tabel 3.8	Ketentuan sifat campuran beraspal panas laston (AC) limbah plastik	37
Tabel 5.1	Hasil Pengujian Abrasi Material Agregat terhadap Spesifikasi Teknis 2018.....	48
Tabel 5.2	Nilai Amplop Gradasi Agregat terhadap Spesifikasi Teknis 2018.....	49
Tabel 5.3	Nilai Penetrasi setiap Penambahan Persentase Kadar Plastik LDPE	51
Tabel 5.4	Nilai Daktilitas setiap Penambahan Persentase Kadar Plastik LDPE	53

Tabel 5.5	Nilai Stabilitas Marshall terhadap Penambahan Persentase Kadar Plastik LDPE	56
Tabel 5.6	Nilai Pelelehan (Flow) terhadap Penambahan Persentase Kadar Plastik LDPE	59
Tabel 5.7	Nilai Rongga Dalam Agregat (Void In Mineral Agregate) Terhadap Penambahan Persentase Kadar Plastik LDPE	62
Tabel 5.8	Nilai Rongga Dalam Campuran (Void In The Mix) Terhadap Penambahan Persentase Kadar Plastik LDPE	65
Tabel 5.9	Nilai Rongga Terisi Aspal (Void Filled with Bitumen, VFB) Terhadap Penambahan Persentase Kadar Plastik LDPE.....	68
Tabel 5.10	Nilai Rongga Dalam Campuran (%) Pada Kepadatan Membal (Refusal)Terhadap Penambahan Persentase Kadar Plastik LDPE.....	70
Tabel 5.11	Nilai Marshall Question (MQ) Terhadap Penambahan Persentase Kadar Plastik LDPE	73
Tabel 5.12	Nilai Analisis Gabungan Nilai Karakteristik Marshall Terhadap Penambahan Persentase Kadar Plastik LDPE.....	76

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1 Susunan lapisan pada perkerasan lentur.....	18
Gambar 4.1 Peta lokasi PT. Virajaya Riauputra	39
Gambar 4.2 Material aspal penetrasi 40/50.....	40
Gambar 4.3 Alat Marshal Test.....	41
Gambar 4.4 Pemotongan material plastik ukuran 0,5 cm x 30 cm	43
Gambar 4.5 Contoh sampel aspal campuran plastik	44
Gambar 4.6 Proses perendaman sampel aspal dalam water batch	45
Gambar 4.7 Pengujian alat Marshall	45
Gambar 4.8 Bagan Alir (Flow Chart) Penelitian	46
Gambar 5.1 Pengujian abrasi material agregat Kampar	49
Gambar 5.2 Hasil Gradasi Gabungan	50
Gambar 5.3 Hubungan Kadar Plastik LDPE dan Nilai Penetrasi.....	51
Gambar 5.4 Hubungan Kadar Plastik LDPE dan Nilai Daktilitas.....	53
Gambar 5.5 Hubungan Kadar Plastik LDPE dan Nilai Stabilitas Marshall.....	57
Gambar 5.6 Pengujian Stabilitas Marshall Aspal 0% Plastik LDPE...	59
Gambar 5.7 Hubungan Kadar Plastik LDPE dan Nilai Pelelehan (Flow).....	60
Gambar 5.8 Hubungan Kadar Plastik LDPE dan Nilai Rongga	

	dalam Agregat (VMA).....	63
Gambar 5.9	Hubungan Kadar Plastik LDPE dan Nilai Rongga Dalam Campuran (VIM).....	66
Gambar 5.10	Hubungan Kadar Plastik LDPE dan Nilai Rongga Terisi Aspal (VFB).....	69
Gambar 5.11	Hubungan Kadar Plastik LDPE dan Nilai Density.....	72
Gambar 5.12	Hubungan Marshall Kuosien (MQ) dan Kadar Plastik LDPE.....	74
Gambar 5.13	Nilai Karakteristik Marshall terhadap Kadar Plastik LDPE 3%.....	77
Gambar 5.14	Benda uji sebelum dilakukan <i>Marshall test</i>	78
Gambar 5.15	Benda uji setelah dilakukan <i>Marshall test</i>	78
Gambar 5.16	Hubungan nilai Stabilitas dengan kadar plastik terhadap pengujian Razak dan Erdiansa (2016)	81
Gambar 5.17	Hubungan nilai Flow dengan kadar plastik terhadap pengujian Razak dan Erdiansa (2016)	83
Gambar 5.18	Hubungan nilai VMA dengan kadar plastik terhadap pengujian Razak dan Erdiansa (2016)	84
Gambar 5.19	Hubungan nilai VIM dengan kadar plastik terhadap pengujian Razak dan Erdiansa (2016)	86
Gambar 5.20	Hubungan nilai VFB dengan kadar plastik terhadap pengujian Razak dan Erdiansa (2016)	87

Gambar 5.21 Hubungan nilai Density dengan kadar plastik terhadap pengujian Razak dan Erdiansa (2016)	88
Gambar 5.22 Hubungan nilai MQ dengan kadar plastik terhadap pengujian Razak dan Erdiansa (2016)	90



ABSTRAK

PENGARUH PENCAMPURAN LIMBAH PLASTIK JENIS LDPE (LOW DENSITY POLY ETHILEN) PADA LASTON AC-WC MATERIAL KAMPAR TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL

Oleh :

Khairil Anwar

NPM: 183 122 014

Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga Tahun 2017 mengeluarkan Spesifikasi Khusus Interim bahwa jenis sampah plastik LDPE (*Low Density Poly Ethilen*) dapat dijadikan bahan campuran beraspal panas dalam pelaksanaan di lapangan, namun harus diketahui berapa persen penggunaan dan jenis potongan limbah plastik LDPE terhadap berat aspal sehingga memenuhi karakteristik Marshall baik terhadap stabilitas maupun tahan terhadap deformasi aspal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah plastik LDPE terhadap karakteristik Marshall. Metoda pengujian yang dilakukan dengan pencampuran basah dan pengujian *eksperimental* di laboratorium menggunakan jenis limbah plastik LDPE terhadap pencampuran lapis aspal beton AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*), menggunakan aspal keras penetrasi 40/50 PG-76 dan material agregat Kampar ditinjau terhadap karakteristik Marshall.

Dari hasil penelitian terhadap pengujian Karakteristik Marshall menunjukkan bahwa penggunaan kadar plastik LDPE 0%,2%,3%,4%,6%,8%,10% dan 12% yang paling ideal dan memenuhi ketentuan Spesifikasi Teknis Bina Marga 2018 terhadap pencampuran aspal pada penambahan kadar plastik 3%, 4% dan 6%. Namun dengan melihat nilai stabilitas direkomendasikan pemakaian kadar plastik 3 % dengan nilai stabilitas meningkat menjadi 2771,2 kg, pelelehan (*flow*) 3,03 mm, rongga dalam campuran (VIM) 4,61%, rongga dalam agregat (VMA) 15,03%, rongga terisi aspal (VFB) 69,36%, Marshall (MQ) 784,3 kg/mm serta kepadatan membal (density refusal) 2,31 gr/cm³.

Penggunaan limbah plastik kantong kresek jenis LDPE dapat dimanfaatkan sebagai tambahan terhadap pencampuran lapis aspal beton AC-WC sehingga dapat membantu Pemerintah dalam menanggulangi limbah plastik.

Kata kunci : AC-WC, Aspal, Kampar, LDPE, Penetrasi, 40/50, Karakteristik, Marshall.

ABSTRACT

THE EFFECT OF MIXING LDPE (LOW DENSITY POLY ETHILEN) PLASTIC WASTE ON THE LASTON AC-WC MATERIALS OF KAMPAR ON THE MARSHALL CHARACTERISTICS

By:
Khairil Anwar
NPM: 183 122 014

The Ministry of Public Works and Public Housing Directorate General of Highways in 2017 issued Interim Specification that type of LDPE (Low Density Poly Ethilen) plastic waste can be used as a hot mix asphalt material in the implementation in the field, but it must be known what percentage of use and types of pieces LDPE plastic waste to the weight of asphalt so that it meets Marshall characteristics both in terms of stability and resistance to asphalt deformation. This study aimed to determine the effect of adding LDPE plastic waste to the characteristics of Marshall. The test method was carried out by wet mixing and experimental testing in the laboratory using the type of LDPE plastic waste for mixing asphalt concrete layers AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*).

From the results of research on Marshall Characteristics testing, it shows that the most ideal use of LDPE plastic content 0%,2%,3%4%,6%,8%,10%,12% and meets the provisions of the 2018 Bina Marga Technical Specifications for mixing asphalt with 40/50 penetration asphalt type PG76 is at levels of 3%, 4% and 6% addition of LDPE plastic. However by looking at the stability value, it is recommendation to use 3% plastic content with a stability value of 2.771,2 kg, flow 3,03 mm, void in mix 4,61%, void mineral agregat 15,03%, void filled with bitumen 69,36%, Marshall quetion 784,3 kg/mm and density refusal 2,31 gr/cm³.

The utilization plastic waste type of LDPE can be used as an adjunct for mixing asphalt concrete AC-WC so that it will help the Government's reduce of plastic waste

Keywords: AC-WC, Asphalt, Kampar, LDPE, Penetration, 40/50, Marshall, Characteristics

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas terutama lalu lintas darat. Untuk meningkatkan layanan transportasi darat, dibutuhkan peningkatan kinerja perkerasan jalan. Kinerja perkerasan adalah respon perkerasan akibat beban lalu lintas, umur, lingkungan serta kekuatan dan mutu perkerasan sendiri (Wiyono S, 2009). Aspal merupakan bahan pengikat dalam campuran beraspal yang mempunyai peranan penting dalam meningkatkan mutu jalan. Pada saat ini banyak dikembangkan campuran material aspal untuk meningkatkan kinerja perkerasan jalan khususnya perkerasan lentur (*flexible pavement*) yang ditinjau dari biaya konstruksi, kesediaan material bangunan jalan dan kemudahan melaksanakannya, salah satunya adalah penggunaan limbah plastik sebagai bahan tambahan dalam pencampuran aspal.

Plastik banyak digunakan dalam rumah tangga dan industri karena sifatnya yang praktis dan serbaguna. Berdasarkan data Direktorat Jenderal Pengelolaan Sampah, Limbah, dan B3 KLHK bahwa total jumlah sampah Indonesia di tahun 2019 akan mencapai 68 juta ton dan sampah plastik diperkirakan akan mencapai 9,52 juta ton atau 14 persen dari total sampah yang ada (Jusnita, dkk, 2017). Sampah plastik berbeda dengan sampah organik, karena sampah plastik memiliki sifat tidak mudah

terurai didalam tanah. Salah satu jenis sampah plastik berdasarkan kode dan penggunaannya adalah jenis LDPE (*Low Density Poly Ethilen*) yang berupa kantong kresek, tutup plastik, berbagai macam plastik tipis lainnya.

Menurut Spesifikasi Khusus Interim yang dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga tahun 2017 bahwa jenis sampah plastik LDPE dapat dijadikan bahan campuran beraspal panas dalam pelaksanaan di lapangan, namun harus diketahui berapa persen penggunaan dan jenis potongan sampah plastik LDPE terhadap berat aspal sehingga memenuhi karakteristik Marshall baik terhadap stabilitas maupun tahan terhadap deformasi aspal. Sehingga dengan adanya pemanfaatan jenis sampah plastik LDPE ini terhadap pencampuran lapis aspal beton AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) akan membantu mengurangi Pemerintah dalam menanggulangi sampah plastik.

Berdasarkan berapa persen dan bagaimana pengaruhnya penggunaan jenis potongan sampah plastik LDPE terhadap berat aspal yang akan digunakan dalam pencampuran lapis aspal beton AC-WC sehingga memenuhi karakteristik Marshall, perlu dilakukan penelitian dengan melakukan pengujian *eksperimental* di laboratorium dengan standar spesifikasi teknis yang dipersyaratkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Republik Indonesia 2018.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan pada latar belakang, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh penambahan jenis plastik sampah jenis LDPE (*Low Density Poly Ethilen*) terhadap kinerja campuran beraspal laston AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) dengan menggunakan aspal keras penetrasi 40/50 PG-76.
2. Bagaimana cara pemanfaatan limbah plastik kantong kresek jenis LDPE sebagai bahan tambah pada campuran laston AC-WC.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah plastik jenis LDPE terhadap karakteristik Marshall
2. Untuk mengetahui apakah limbah plastik kantong kresek jenis LDPE dapat sebagai bahan tambah pada campuran laston AC-WC.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian yang telah dirumuskan dapat menjadi rujukan dan manfaat bagi stakeholder dalam memanfaatkan limbah plastik jenis LDPE (*Low Density Poly Ethilen*) dan juga bahan pengganti material agregat.

1.5 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Material agregat kasar berasal dari daerah Kabupaten Kampar.
2. Jenis kemasan plastik yang digunakan adalah plastik LDPE (*Low Density Poly Ethilen*) berwarna hitam dengan ukuran pemotongan 0,5 cm x 30 cm, pemakaian plastik 90% dari setiap limbah kantong kresek plastik.

3. Metode pencampuran laston ac-wc dengan plastik LDPE dengan cara basah.
4. Dalam penelitian ini dibatasi hanya pada sifat perkerasan aspal beton setelah dilakukan penambahan plastik dengan kadar penambahan : 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8% ,10% dan 12%.
5. Penelitian ini dilakukan pada suhu standar pelaksanaan pekerjaan aspal.
6. Dalam penelitian ini tidak terkait dengan kelas jalan.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Penelitian pengaruh pencampuran limbah plastik jenis LDPE (*Low Density Poly Ethilen*) terhadap karakteristik Marshall telah banyak dilakukan oleh para peneliti terdahulu seperti Suroso (2008), Razak dan Erdiansa (2016), dan lainnya. Sehingga dalam penelitian ini menggunakan literatur yang berupa studi kepustakaan, jurnal dan laporan penelitian yang pernah ditulis oleh para ahli yang berkaitan dengan limbah plastik terhadap karakteristik Marshall.

2.2 Penelitian Terdahulu

Banyaknya penelitian terdahulu mengenai penggunaan limbah plastik terhadap karakteristik Marshall, baik itu penelitian dari jenis limbah plastik HDPE (*High Density Polyethylene*), LDPE (*Low Density Polyethylene*), PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan jenis limbah plastik lainnya terhadap karakteristik Marshall. Berikut hasil beberapa penelitian mengenai penggunaan limbah plastik terhadap karakteristik Marshall, antara lain :

1. Suroso, (2008) telah melakukan penelitian mengenai Pengaruh Penambahan Plastik LDPE (*Low Density Poly Ethilen*) Cara Basah dan Cara Kering Terhadap Kinerja Campuran Beraspal. Tujuan penelitian untuk mengetahui mengetahui karakteristik Marshall, Stabilitas Dinamis dan *Resilien Modulus*.

Percobaan dilakukan dengan menambahkan polimer pada campuran aspal beton dengan menggunakan 2 (dua) cara, yaitu cara basah (*wet process*) dimana plastik ditambahkan kedalam aspal panas dan dicampur hingga homogen dan cara kering dimana plastik ditambahkan kedalam agregat panas. Hasil percobaan dilakukan dengan cara kering, plastik dengan kadar sama dengan cara basah ditambahkan kedalam agregat panas (pada temperatur campuran) dan diaduk selama 30-45 detik. Dari hasil yang diperoleh di laboratorium menunjukkan bahwa cara kering menghasilkan karakteristik Marshall, Stabilitas Dinamis dan *Resilien Modulus* lebih besar dari aspal pen 60, namun lebih rendah dari cara basah. Dari segi ekonomi cara kering diperkirakan lebih murah karena waktu pencampuran lebih cepat, tidak memerlukan alat pengaduk dan lebih mudah dilaksanakan dari pada cara basah.

2. Rezza Permana, dkk, (2009) telah melakukan penelitian mengenai Studi Sifat-Sifat Reologi Aspal yang di modifikasi Limbah Tas Plastik. Tujuan penelitian adalah mengetahui pengaruh limbah plastik sebagai aditif terhadap sifat reologi aspal. Aspal murni pen 60/80 dan persentase penambahan plastik kedalam bitumen sebesar 0,5%, 1%, 2% dari berat aspal. Pengujian yang dilakukan pada studi ini adalah penetrasi, berat jenis, daktilitas, viskositas, kehilangan berat dan penetrasi setelah kehilangan berat. Hasil uji aspal plastik menunjukkan bahwa limbah plastik memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penetrasi, titik lembek dan nilai daktilitas. Secara keseluruhan,

penggunaan limbah plastik sebagai bahan aditif pada aspal menunjukkan pengaruh peningkatan mutu bitumen lebih baik dari aspal murni. Pada umumnya hasil uji sifat reologi aspal mendekati persyaratan aspal polimer.

3. Purnamasari, dkk, (2010) telah melakukan penelitian mengenai Pengaruh Penggunaan Limbah Botol Plastik Sebagai Bahan Tambah Terhadap Karakteristik Lapis Aspal Beton (Laston). Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui karakteristik Marshall terhadap penggunaan limbah botol plastik berupa plastik botol minuman (PET). Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik Marshall seperti nilai *Density*, *Void Filled With Asphalt* (VFWA) dan *Flow* lebih rendah dari campuran aspal beton normal. Nilai Marshall cenderung meningkat terdapat pada *Void In The Mix* (VITM), sedangkan untuk nilai Stabilitas dan *Marshall Question* cenderung meningkat atau naik karena pengaruh penggunaan plastik dan kadar aspal dalam campuran pada komposisi tertentu menunjukkan kinerja yang baik. Dapat disimpulkan bahwa limbah plastik bekas botol minum (PET) dapat digunakan sebagai bahan tambah dalam campuran aspal beton.
4. Rahmawati, dkk, (2013) telah melakukan penelitian mengenai Pengaruh Penggunaan Limbah Plastik Polipropilena Sebagai Pengganti Agregat Pada Campuran Laston Terhadap Karakteristik Marshall. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui limbah plastik jenis *Polipropilena* (PP) sebagai pengganti agregat dalam campuran Lapis Aspal Beton (Laston) ditinjau dari

karakteristik Marshall dengan menggunakan tiga persentase kadar aspal, yakni 5%, 6% dan 7% dan kadar PP yang digunakan adalah 0%, 2%, 5%, dan 10%.

Dari pengujian Marshall yang dilakukan didapatkan hasil bahwa penggunaan PP cenderung meningkatkan nilai stabilitas, kelelahan, VIM, VMA dan *Marshall Quotient* (MQ). Adapun nilai VFA cenderung menurun seiring dengan penambahan kadar PP yang digunakan.

5. Rahmawati, dkk, (2015) telah melakukan penelitian mengenai Perbandingan Pengaruh Penambahan Plastik *High Density Polyetilene* (HDPE) Dalam Laston-Wc Dan Lataston-Wc Terhadap Karakteristik Marshall. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui prosentase penggunaan jenis plastik HDPE sebagai campuran aspal terhadap karakteristik Marshall. Kadar aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah kadar aspal optimum 6,5% untuk LASTON dan 7,5% untuk LATASTON. Sedangkan prosentase HDPE sebagai campuran aspal adalah 0%, 2%, 4%, dan 6% dari total berat aspal. Masing-masing variasi dibuat sebanyak dua sampel (duplo). Dari pengujian Marshall yang dilakukan didapatkan hasil bahwa penambahan HDPE sebanyak 2% pada aspal untuk campuran Laston-WC dapat meningkatkan stabilitas campuran sebesar 37,18% dari campuran Laston-WC tanpa tambahan HDPE, yaitu dengan nilai stabilitas campuran tanpa HDPE sebesar 1755 kg dan dengan HDPE 2% sebesar 2407,5 kg. Begitu juga campuran aspal dengan tambahan HDPE sebesar 4% dan 6% terjadi juga peningkatan nilai stabilitas sebesar 2306,25 kg dan 2677,5 kg. Sedangkan untuk campuran Lataston-WC,

penambahan HDPE 2% pada campuran aspal dibandingkan tanpa tambahan HDPE pada campuran aspal memberikan hasil peningkatan stabilitas dari 1879 menjadi 254,50 atau sebesar 35%. Selain nilai stabilitas campuran, indikasi peningkatan kualitas campuran dengan penambahan HDPE juga terjadi pada hasil VIM, VMA, VFA dan MQ.

6. Soandrijanie, dkk, (2015) telah melakukan penelitian mengenai Penggunaan PVC Sebagai Bahan Tambah Pada Beton Aspal. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui penggunaan PVC sebagai campuran aspal terhadap karakteristik Marshall. Penelitian ini menggunakan PVC dengan kadar penambahan PVC 0%, 2%, 3%, 4%, 8%, dan 12% terhadap berat keseluruhan campuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan PVC yang berasal dari pipa air sebagai bahan tambah pada beton aspal menyebabkan nilai *density* tidak beraturan, menurunkan nilai *Void Fill With Asphalt* (VFWA), nilai stabilitas, nilai *Marshall Quotient* (MQ) dan menaikkan nilai *Void In The Mix* (VITM) dan *flow*.
7. Razak dan Erdiansa, (2016) telah melakukan penelitian mengenai Karakteristik Campuran AC-WC dengan Penambahan Limbah Plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan limbah plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) pada karakteristik campuran AC-WC dengan variasi kadar plastik yaitu 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% untuk mengetahui karakteristik AC-WC. Dari hasil test Marshall menunjukkan bahwa nilai karakteristik AC-WC yang meliputi

persentase kadar plastik yang diperoleh dari hasil pengujian 1%-5% dari jumlah kadar aspal optimum, jika kadar plastik dalam aspal ditambahkan maka nilai stabilitas, *flow*, dan *Marshall Quotient* mengalami peningkatan dan penurunan yang tidak stabil, sedangkan nilai VFB dan kepadatan meningkat, dan nilai VIM dan VMA menurun.

8. Fitri, dkk, (2018) telah melakukan penelitian mengenai Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Kresek Sebagai Substitusi Aspal Pen 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-BC. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan limbah plastik kresek sebagai substitusi Aspal Pen 60/70 dengan menggunakan agregat basalt terhadap karakteristik Marshall campuran aspal beton AC-BC. Tahapan awal penelitian adalah mencari Kadar Aspal Optimum (KAO). Penambahan variasi kantong plastik bekas sebagai aditif secara berturut turut yaitu 2%, 4%, 6%, dan 8% pada KAO-0,5, KAO dan KAO+0,5 dari KAO awal 5,35%. Dari ketiga KAO tersebut diambil nilai yang tertinggi yaitu pada KAO+0,5 sebesar 3,3% untuk pembuatan benda uji pada persentase variasi plastik KPO $\pm 2\%$ dengan mendapatkan nilai Marshall dan durabilitas. Nilai stabilitas terus meningkat pada persentase variasi kadar plastik bekas 1,3%, 3,3% dan 5,3% masing-masing sebesar 1470,48 kg, 1476,28 kg, dan 1489,28 kg dengan rendaman 30 menit (suhu 60⁰ C) dan 1286,42 kg, 1316,35 kg, 1345,41 kg dengan rendaman 24 jam (suhu 60⁰ C). Kondisi ini disebabkan oleh kandungan dalam aditif yang bercampur dengan aspal pen 60/70 di dalam campuran menyebabkan daya lekat aspal dengan

aregat menjadi lebih baik hingga mencapai batas nilai tertentu, yaitu pada batas 5,3% dengan nilai stabilitas terbaik yaitu sebesar 1489,28 kg pada rendaman 30 menit dan sebesar 1345,41 kg pada rendaman 24 jam. Dari perbandingan kedua stabilitas tersebut diperoleh nilai durabilitas sebesar 99,84 % sehingga telah memenuhi spesifikasi untuk campuran yang ditambahkan aditif, yaitu sebesar $\geq 90\%$.

9. Iftia Rodhilla, (2019) telah melakukan penelitian mengenai Analisis Perbandingan Karakteristik Marshall Terhadap Penambahan Plastik Jenis HDPE Pada Campuran Aspal dengan Variasi Ukuran Pemotongan Plastik. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan limbah plastik HDPE sebagai campuran Lapis *Aspal Concrete – Wearing Course* (AC-WC). Limbah plastik HDPE dicampur aspal dengan metoda pencampuran basah dan kering dengan kadar plastik 2%, 4%, 6%, 8% dan 10%. Ukuran pemotongan plastik bervariasi yaitu 0,4 cm x 0,4 cm dan 0,4 cm x 5cm sampai 10 cm. Dari Pengujian Marshal didapat Hasil Penelitian Karakteristik Marshal cenderung memenuhi kriteria dalam spesifikasi khusus interim campuran beraspal panas menggunakan limbah plastik. Perbedaannya terletak pada ukuran pemotongan plastik. Plastik dengan dimensi pemotongan panjang memiliki perubahan nilai karakteristik Marshall yang relatif besar pada setiap 2% perubahan kadar plastik, tetapi plastik dengan ukuran pemotongan pendek perubahan nilai karakteristik Marshall relatif kecil.

10. Uji coba penggunaan bahan plastik oleh Pemerintah Indonesia

Penelitian penggunaan pencampuran plastik LDPE sebelumnya pernah dilakukan di Indonesia, diantaranya;

- a. Uji coba di beberapa kota, seperti Bali, Bekasi dan Makassar, oleh Badan Penelitian dan Pengembangan (Balitbang) Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). Dari hasil uji coba didapatkan kesimpulan bahwa penggunaan aspal plastik berdampak positif terhadap karakteristik aspal beton. (<https://pu.go.id/berita/kementrian-pupr;2017>)
- b. Uji coba aspal dari limbah plastik untuk aplikasi penggunaan di jalan tol. Jalan tol yang menjadi lokasi uji coba berada di km 43 ruas Tol Tangerang-Merak sepanjang 100 m. (<https://pu.go.id/berita/kementrian-pupr;2017>)
- c. Uji coba penggunaan aspal campuran limbah plastik oleh kementerian pekerjaan umum dan perumahan rakyat di jalan Dakota akses bandara lama Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan sepanjang 100 m. Komposisi limbah plastik kresek sebagai bahan campuran yang direkomendasikan maksimal 6 % karena apabila melebihi kadar tersebut dapat mempengaruhi kualitas aspal dan mudah retak. Penambahan limbah plastik pada campuran beraspal panas dapat meningkatkan nilai stabilitas marshal sampai 40% dan tahan terhadap deformasi dibandingkan dengan campuran beraspal panas tanpa campuran plastik. (<https://pu.go.id/berita/kementrian-pupr;2017>)
- d. 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 BBPJN 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.

11. Uji Coba Penggunaan Bahan Plastik Mancanegara
 - a. Khan, dkk, (2016) telah melakukan penelitian mengenai *Asphalt Design using Recycled Plastik and Crumb-rubber Waste for Sustainable Pavement Construction*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku campuran aspal setelah dilakukan penambahan limbah plastik dan serpihan karet. Material yang digunakan sebagai bahan tambah adalah plastik jenis LDPE, HDPE, dan serpihan karet Laston Lapis Pondasi. *Complex modulus* (G^*) and sudut *phase* (δ) yang didapatkan dari dari *Dynamic Shear Rheometer* (DSR) adalah parameter dasar yang digunakan untuk mengevaluasi perilaku pengikat sehubungan dengan rutting dan kelelahan retak. Dari percobaan ini disimpulkan bahwa *Low Density Poly Ethylene* (LDPE), *High Density Polyethylene* (HDPE), dan *Crumb Rubber* (CR) dimodifikasi sebagai pengikat menunjukkan peningkatan signifikan dalam sifat reologi pengikat.

- b. Bansal, dkk, (2017) telah melakukan penelitian mengenai *Evaluation of Modified Bituminous Concrete Mix Developed Using Rubber and Plastik Waste Materials*. Penelitian ini dilakukan dengan mengganti sebagian Bitumen dengan plastik bekas pada kadar (4%, 6%, 8% dan 10%) dan remah karet (5%, 10% dan 15%). Hasilnya bahwa mengganti sebagian bitumen dengan plastik bekas menghasilkan peningkatan kekuatan hingga 16% sedangkan dengan bahan karet, sekitar penambahan kekuatan 50% dibandingkan dengan campuran konvensional (CM). Hasil pengujian laboratorium menunjukkan bahwa dengan menggunakan bahan limbah, kekuatan dan kepadatan yang dibutuhkan beton bitumen dengan dapat diperoleh dan dihasilkan perkerasan yang ramah lingkungan dengan biaya bahan yang lebih murah.
- c. Nkaga, dkk, (2017) telah melakukan penelitian mengenai *Characterization of bitumen plastik blends for Flexible Pavement Application*. Penelitian ini dilakukan dengan menambahkan plastik dengan kadar 5%, 10% dan 15%. Hasil dari percobaan ini didapatkan nilai Marshall berupa Stabilitas, rongga terisi udara, rongga dalam mineral agregat mengalami peningkatan. Sedangkan pada nilai *Bulk Density* dan *flow*, mengalami penurunan.

2.3 Keaslian Penelitian

Berbeda dengan penelitian Suroso (2008), Rezza Permana (2009), Purnamasari dan Suryaman (2010), Rahmawati dan Rizana (2013), Rahmawati, dkk. (2015), Soandrijanie dan Kurniawan (2015), Razak dan Erdiansa (2016), Fitri, dkk. (2018),

Iftia Rodhilla (2019), penelitian ini akan membandingkan efektifitas pemakaian limbah plastik jenis LDPE (*Low Density Poly Ethilen*) dengan metoda pencampuran basah pada Laston Lapis Aus (AC-WC) dengan menggunakan jenis aspal penetrasi 40/50 ditinjau terhadap hasil Karakteristik *Marshall Test*.



BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang terdiri bahan campuran beraspal pada lapis atas (permukaan) dan agregat bergradasi sebagai lapisan bawah. Gabungan lapisan tersebut mempunyai kelenturan (*flexibilitas*) yang dapat menciptakan kenyamanan kendaraan yang melewatinya. Menurut Sukirman (1992) Lapisan perkerasan lentur dapat juga disebut campuran antara agregat yang bergradasi rapat dan aspal. Pencampuran bahan tersebut dalam keadaan panas (sehingga dikenal dengan nama *hotmix*), dihamparkan serta dalam keadaan panas pula diatas permukaan pondasi atas. Lapis permukaan ini harus kedap air, permukaannya rata namun kasar.

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*). 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 (Sukirman,1992).

Susunan lapisan konstruksi perkerasan lentur terdiri dari:

1. Lapisan permukaan (*surface course*).

Merupakan lapisan aus atau permukaan berfungsi sebagai:

- a. Lapis perkerasan penahan beban roda, lapisan yang mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
 - b. Lapis kedap air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan yang ada di bawahnya dan melemahkan lapisan-lapisan tersebut.
 - c. Lapis aus (*wearing course*), lapisan yang langsung menderita gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
 - d. Lapis yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain yang mempunyai daya dukung yang lebih jelek.
2. Lapisan pondasi atas (*Base Course*).

Lapisan pondasi atas mempunyai fungsi sebagai:

- a. Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya.
 - b. Lapisan peresapan untuk lapisan fondasi bawah.
 - c. Bantalan terhadap lapisan permukaan.
3. Lapisan pondasi bawah (*subbase course*).

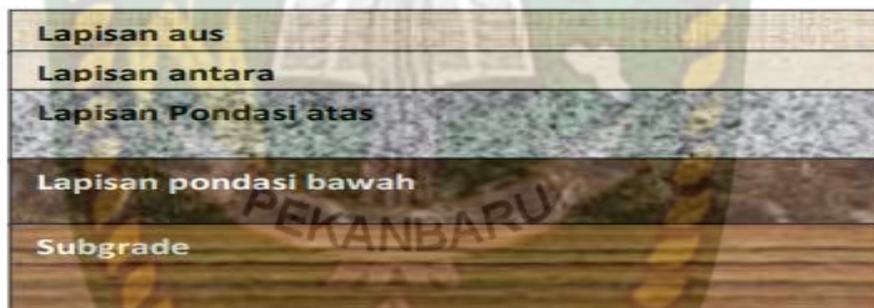
Lapisan pondasi bawah berfungsi sebagai:

- a. Bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda ke tanah dasar.
- b. Efisiensi penggunaan material, dimana material pondasi bawah relatif murah dibandingkan dengan lapisan perkerasan yang ada di atasnya.
- c. Mengurangi tebal lapisan yang ada di atasnya yang lebih mahal.

- d. Sebagai lapis peresapan, agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.
 - e. Mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik kelapis pondasi atas
4. Lapisan tanah dasar (*subgrade*)

Lapisan tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dipampatkan jika tanah aslinya baik, tanah yang didatangkan dari tempat lain dan dipampatkan atau tanah yang distabilisasi dengan kapur atau bahan lainnya. Pematatan yang baik diperoleh jika dilakukan pada kadar air optimum dan diusahakan kadar air tersebut konstan selama umur rencana.

Jenis lapisan serta bagian dari perkerasan lentur umumnya dapat diilustrasikan seperti diperlihatkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Susunan lapisan pada perkerasan lentur (Rhodilla.I, 2019)

Adapun Lapisan permukaan (*surface course*) dibedakan atas 2 lapisan, yaitu:

1. Lapis aus permukaan (*asphalt concrete - wearing course AC-WC*). Fungsi lapisan ini adalah:
 - a. Menyelimuti perkerasan dari pengaruh air.
 - b. Menyediakan permukaan yang halus.
 - c. Menyediakan permukaan yang mempunyai karakteristik yang kesat, rata, sehingga aman dan nyaman untuk dilalui pengguna.

- d. Menyebarkan beban ke lapisan dibawahnya.
- 2. Lapis permukaan antara (*asphalt concrete - binder course AC-BC*). Fungsi AC-BC adalah :
 - a. Mengurangi tegangan/regangan akibat beban lalu lintas dan meneruskannya ke lapis di bawahnya.
 - b. Mempunyai kekuatan yang tinggi pada bagian perkerasan untuk menahan beban paling tinggi akibat beban lalu lintas.

3.2 Agregat

Menurut Departemen Pekerjaan Umum pada Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (*Laston*) untuk Jalan Raya, SKBI-2.4.26.1987, agregat merupakan sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun hasil buatan.

Sifat – sifat agregat sebagai material perkerasan:

- 1. Merupakan salah satu faktor penentu kemampuan perkerasan jalan, memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca.
- 2. Susunan butir agregat sesuai dengan ukurannya dinyatakan dengan persentasi lolos atau tertahan yang menentukan besarnya rongga yang mungkin terjadi dalam agregat campuran. Gradasi yang baik adalah campuran gradasi kasar dan halus, sedangkan gradasi yang buruk adalah gradasi yang seragam, senjang dan terbuka.
- 3. Kebersihan agregat ditentukan berdasarkan butir halus yang lolos saringan no. 200, seperti adanya lempung, atau lanau.

4. Ketahanan agregat atau penurunan mutu akibat proses mekanis dan kimiawi diuji dengan mesin abrasi *los angeles* dan *soundess* terhadap larutan magnesium sulfat.
5. Bentuk butir agregat: bulat, kubus, lonjong, pipih, tak beraturan.
6. Tekstur agregat: licin, kasar, dan borpori.
7. Daya lekat agregat terhadap aspal dipengaruhi oleh sifat terhadap air yaitu *hydrophilic* (mudah diresapi air/sulit dilekati aspal) dan *hydropobic* (tidak mudah terikat dengan air/mudah dilekati aspal). Kelekatan dinyatakan dengan persentase (%) luas permukaan agregat yang dilapisi aspal terhadap total luas.
8. Berat jenis agregat terdiri dari : bulk, kering permukaan, semu dan efektif.
Sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu kemampuan perkerasan jalan memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca. Berdasarkan besar ukuran ayakan agregat dibedakan menjadi tiga macam yaitu:

1. Agregat kasar

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, Agregat kasar yang digunakan merupakan agregat yang tertahan pada ayakan No.4 atau 4,75 mm yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Berikut ketentuan agregat kasar yang digunakan dalam pencampuran aspal seperti pada Tabel 3.1 (Bina Marga, 2018).

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	100 putaran	Maks. 6%	
	Modifikasi dan SMA	500 putaran	Maks. 30%	
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran	SNI 2417:2008	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 yang digunakan dalam pencampuran aspal merupakan agregat yang terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah serta lolos ayakan No.4 atau 4,75 mm. Untuk ketentuan agregat halus berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan mengenai ketentuan agregat yang digunakan seperti pada Tabel 3.2, (Bina Marga, 2018).

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. Bahan pengisi (*filler*)

Bahan pengisi adalah bahan berbutir halus lolos ayakan No.30 dimana persentase berat butir yang lolos ayakan No.200 tidak kurang dari 75% terhadap beratnya. Agregat dalam penggunaannya sebagai material campuran pembentuk aspal harus memenuhi persyaratan gradasi. Untuk Gradasi agregat campuran aspal berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dapat dilihat pada tabel 3.3

Tabel 3.3. Amplop gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal jenis laston (AC) (Bina Marga, 2018).

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos Terhadap Total Agregat Dalam Campuran		
	WC	BC	BASE
37,5			100
25		100	90-100
19	100	90-100	76-90
12,5	90-100	75-90	60-78
9,5	77-90	66-82	52-71
4,75	53-69	46-64	35-54
2,36	33-53	30-49	23-41
1,18	21-40	18-38	13-30
0,6	14-30	12-28	10-22
0,3	9-22	7-20	6-15
0,15	6-15	5-13	4-10
0,075	4-9	4-8	3-7

Catatan :

- Untuk HRS-WC dan HRS-Base yang benar-benar senjang, paling sedikit 80% agregat lolos ayakan No.8 (2,36 mm) harus lolos ayakan No. 30 (0,600 mm).
- Apabila tidak ditetapkan dalam gambar, penggunaan pemilihan gradasi sesuai dengan petunjuk Direksi Pekerjaan dengan mengacu pada panduan Spesifikasi Teknis 2010 Revisi 3.

3.3 Aspal

Aspal adalah material pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu dan kembali membeku jika temperatur turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan (Sukirman, 2003). Sifat-sifat aspal yang mempengaruhi kinerja campuran beraspal antara lain:

1. Daya tahan (*durability*)

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

2. Adhesi dan kohesi

Adhesi adalah kemampuan aspal untuk mengikat agregat sehingga dihasilkan ikatan yang baik antara agregat dengan aspal. Kohesi adalah kemampuan aspal untuk menahan agregat tetap di tempatnya setelah terjadi pengikatan.

3. Kepekaan terhadap temperatur Aspal

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

4. Kekerasan aspal

Aspal pada proses pencampuran dipanaskan dan dicampur dengan agregat sehingga agregat dilapisi aspal atau aspal panas disiramkan ke permukaan agregat yang telah disiapkan (pada proses pelaburan). Pada proses pemanasan inilah akan terjadi pengerasan.

Fungsi aspal adalah sebagai bahan pengikat aspal dan agregat atau antara aspal itu sendiri, juga sebagai pengisi rongga pada agregat. Jenis-jenis aspal terdiri dari :

a. Aspal keras (*Asphalt Cement*)

Aspal keras merupakan hasil penyulingan minyak bumi yang kemudian disuling sekali lagi pada suhu yang sama tetapi dengan tekanan rendah (hampa udara), sehingga dihasilkan bitumen.

b. Aspal cair (*Cut Back Asphalt*)

Aspal cair adalah aspal keras yang dicampur dengan pelarut. Jenis aspal cair tergantung dari jenis pengencer yang digunakan untuk mencampur aspal keras tersebut. Aspal cair digunakan untuk keperluan lapis resap pengikat (*prime coat*).

c. Aspal emulsi

Aspal emulsi adalah aspal cair yang lebih cair dari aspal cair pada umumnya dan mempunyai sifat dapat menembus pori-pori halus dalam batuan yang tidak dapat dilalui oleh aspal cair biasa.

d. Aspal Modifikasi

Shell Cariphalte merupakan salah satu aspal polymer modifikasi dengan kualitas premium yang digunakan untuk proyek seperti jalan tol, bandar udara dan sirkuit. *Cariphalte* adalah aspal polymer modifikasi yang menggunakan *Styrene Butadine Styrene* (SBS). Produk ini bisa meningkatkan ketahanan terhadap kenaikan suhu dan beban. Sehingga bisa menahan keretakan, oksidasi dan *rutting*. Hasil pengujian aspal keras PG 76 dapat dilihat pada tabel 3.4 (*Shell Cariphalte* PG 76, 2020)

Tabel 3.4. Hasil Pengujian Aspal Keras *Shell Cariphalte* PG 76 Curah & Drum (*Shell Cariphalte* PG 76, 2020)

NO	JENIS PENGUJIAN	UNIT	METODE	SPESIFIKASI	HASIL UJI
1	Viskositas Pada 135° C	Pa.s	ASTM D4402 / SNI 7729-2011	MAX 3.00	2.6
2	Viskositas Pada 170° C	Pa.s	ASTM D4402 / SNI 7729-2011	MAX 0.80	0.51
3	Penetrasi Pada 25° C	mm	ASTM D5 / SNI 06-2456-2011	40-70	50
4	Titik Lembek	° C	ASTM D36 / SNI 06-2434-2011	Dilaporkan	78
5	Keelastisan Setelah Pengembalian Pada 25° C, 10 Cm Pemuluran	%	ASTM D6084	MIN 75	80
6	Titik Nyala (COC)	° C	ASTM D92 / SNI 06-2433-2011	MIN 230	332
7	Geser Dinamis ($G^*\sin\delta$) Pada Osilasi 10 rad/detik, 76° C	Kpa	AASHTO T 315	MIN 1.00	2
8	Kehilangan Berat	% w/w	ASTM D2872	MAX 1.00	0.018
9	Peningkatan Titik Lembek	° C	ASTM D38	MAX 10	7
10	Keelastisan pada RTFOT, 25° C, Pemanjangan 10 Cm	%	ASTM D6084	75	76
11	Geser Dinamis Setelah RTFOT	Kpa	AASHTO T315	MIN 2.2	3.087
12	Geser Dinamis setelah PAV $G^*/\sin\delta$ @10rad/sec, 31° C	Kpa	AASHTO T315	MAX 5000	1850
13	Evolusi Titik lembek	° C	ASTM D36 / SNI 06-2434-2011	MAX 5	0.3
14	Evolusi Penetrasi	dmm	ASTM D5 / SNI 06-2456-2011	MAX 9	1

3.4 Plastik LDPE (*Low Density Poly Ethilen*)

Plastik adalah jenis makro molekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (*monomer*) melalui proses kimia menjadi molekul besar (polimer atau makro molekul). Secara umum dikenal beberapa jenis plastik yang sering digunakan, yaitu:

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

LDPE (*Low-Density Polyethylene*), bahan ini lebih mudah didaur ulang untuk penggunaan pembungkus daging beku, tutup, kantong kresek, dan berbagai macam produk berbahan dasar sama yang tipis lainnya. Limbah plastik seperti kantong plastik paling banyak diproduksi di lapisan masyarakat, baik limbah plastik rumah tangga, pedagang maupun industri. Plastik LDPE dapat diaplikasikan pada :

- a. Penggunaan kantong plastik untuk belanja bahan makanan dan sayuran.
- b. Penggunaan sebagai kantong praktis membawa aneka barang belanjaan sehari-hari.
- c. Penggunaan sebagai kantong pembungkus kertas fotokopi / dokumen lainnya.

Dalam penelitian ini, akan digunakan Plastik *Polyethylene* jenis LDPE, yaitu material kantong plastik yang sering digunakan untuk kantong belanja. Berdasarkan

bahan limbah plastik menurut Spesifikasi Khusus Interim Campuran Beraspal Panas Menggunakan Limbah Plastik Tahun 2017 sebagai berikut: (Spesifikasi Khusus Interim, 2017)

1. Jenis plastik yang dapat digunakan berupa limbah plastik dari jenis *Low-Density Polyethylene* (LDPE).
2. Limbah plastik yang digunakan harus hasil olahan yang telah dipilah, dicacah dan dicuci.
3. Cacahan limbah plastik yang digunakan harus kering, bersih dan terbebas dari bahan organik atau bahan yang tidak dikehendaki.
4. Penggunaan limbah plastik dari 4% sampai dengan 6% terhadap berat aspal. Penggunaan yang lebih dari 6% harus mendapat persetujuan dari pengawas pekerjaan. Limbah plastik harus memenuhi ketentuan seperti pada tabel 3.5 (Spesifikasi Khusus Interim Bina Marga, 2017).

Tabel 3.5. Ketentuan limbah plastik hasil cacahan (Spesifikasi Khusus Interim Bina Marga, 2017)

Pengujian	Persyaratan
Ukuran butir lolos saringan 3/8 Inch (9,5 mm) %	100
Ukuran butir lolos saringan No 4 (4,75 mm) %	90
Ketebalan (mm)	Maks. 0,07
Kadar air (%)	Maks. 5
Titik leleh (⁰ C)	100-120

3.5 Plastik dan perkerasan

Suroso (2004) menjelaskan bahwa suatu cara meningkatkan titik lembek aspal adalah dengan menambahkan plastik. Dari hasil penelitiannya, penambahan plastik ke

dalam aspal meningkatkan titik lembek aspal dan menurunkan nilai penetrasi aspal sehingga tidak mudah terpengaruh oleh perbedaan temperatur, menaikkan nilai stabilitas dan *Marshall Quotient* pada aspal.

Teknik yang digunakan dalam pencampuran plastik dengan campuran beraspal, yaitu: (Balitbang, 2017)

1. Cara basah (*wet process*), yaitu plastik dicampurkan kedalam aspal panas pada dengan adukan kecepatan tinggi sampai homogeny.
2. Cara kering (*dry process*), pada temperatur campuran setelah agregat dipanaskan dicampur dengan plastik dan ditambahkan aspal panas. Cara ini tergolong lebih mudah dalam pelaksanaannya yaitu hanya dengan memasukkan plastik ke dalam agregat panas, tanpa membutuhkan peralatan lain untuk mencampur (*mixer*).

3.6 Abrasi

Abrasi merupakan sebuah tes keausan untuk mengetahui perbandingan antara berat bahan yang hilang atau tergerus (akibat benturan bola bola baja) terhadap berat bahan awal (semula) dalam persen dengan menggunakan mesin abrasi Los Angeles (SNI.2008). Agregat yang akan digunakan diuji ketahanannya dengan tes abrasi menggunakan mesin abrasi Los Angeles, dimana hasilnya tersebut dijadikan untuk acuan perencanaan dan pelaksanaan dalam penggunaan bahan perkerasan jalan.

3.7 Gradasi Gabungan

Pemeriksaan gradasi campuran dimaksudkan untuk menentukan persentase kombinasi gradasi agregat kasar dan agregat halus untuk pembuatan campuran laston

ACWC. Penentuan gradasi campuran dipilih campuran nomor dua dengan hasil gradasi atau tekstur permukaan yang cenderung kasar (SKBI 2.4.26.1987). Pengujian dilakukan dengan menggunakan analisa saringan terhadap agregat kasar berupa batu pecah dengan ukuran maksimal 3/4” dan 3/8” serta agregat halus berupa pasir dan abu batu lolos saringan No. 4.

Tabel 3.6. 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 1/2 “	37,5	-
1”	25	-
3/4”	19	100
1/2”	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

3.8 Karakteristik *Marshall Test*

Menurut Sukirman (1999), kinerja campuran aspal beton dapat diperiksa dengan menggunakan alat pemeriksaan Marshall. Metode Marshall ditemukan oleh Bruce Marshall dan selanjutnya dikembangkan oleh U.S. *Corps of Engineer*. Pengujian Marshall bertujuan untuk mengukur daya tahan (*stability*) campuran agregat dan aspal terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran aspal dan agregat.

Kelelahan plastis adalah keadaan perubahan bentuk campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0,01. Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan cincin penguji (*Proving ring*) yang berkapasitas 2500 kg atau 5000 pon. *Proving ring* dilengkapi dengan arloji pengukur yang berguna untuk mengukur stabilitas campuran. Disamping itu terdapat juga arloji kelelahan (*flowmeter*) untuk mengukur kelelahan plastis (*flow*). Benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm dan tinggi 7,5 cm dipersiapkan di laboratorium dalam cetakan benda uji dengan menggunakan hammer seberat 10 ppon (4,536 kg) dan tinggi jatuh 18 inch (45,7 cm) yang dibebani dengan kecepatan tetap 50 mm/menit. Dari proses persiapan benda uji sampai pemeriksaan dengan alat Marshall diperoleh data-data sebagai berikut: nilai stabilitas, berat volume, kadar aspal, kelelahan plastis (*flow*), VIM, VMA, penyerapan aspal, tebal lapisan aspal (film aspal), kadar aspal efektif, hasil bagi Marshall (*koefisien Marshall*). Adapun karakteristik campuran panas agregat aspal dapat diukur dari sifat-sifat *Marshall* sebagai berikut:

1. Stabilitas (*Stability*)

Menurut Sukirman.S, (2003) Stabilitas merupakan kemampuan lapis keras untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya tanpa mengalami perubahan bentuk tetap seperti gelombang (*washboarding*) dan alur (*rutting*). Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, kebutuhan akan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi.

Sebaliknya, perkerasan jalan yang diperuntukkan untuk melayani lalu lintas ringan tentu tidak perlu mempunyai nilai stabilitas yang tinggi.

Nilai stabilitas dipengaruhi oleh bentuk, kualitas, tekstur permukaan dan gradasi agregat yaitu gesekan antar butiran agregat (*internal friction*) dan penguncian antar agregat (*interlocking*), daya lekat (*cohesion*) dan kadar aspal dalam campuran (Sulaksono, 2001). Nilai Stabilitas dari benda uji didapat dari pembacaan arloji stabilitas alat tekan *Marshall*. Angka yang diperoleh dikoreksi dengan angka kalibrasi alat dan angka koreksi ketebalan benda uji. Nilai Stabilitas dihitung dengan persamaan 3.1.

$$\text{Stabilitas} = P \times \text{koreksi tebal benda uji (kg)} \dots \dots \dots (3.1)$$

dimana:

P = kalibrasi proving ring pada O

O = nilai pembacaan arloji stabilitas

2. Rongga dalam agregat / *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

Void in Mineral Aggregate (VMA) adalah ruang diantara partikel agregat pada suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, dinyatakan dalam persen terhadap volume total campuran (RSNI,2003). Kuantitas 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 digunakan. Rongga dalam agregat merupakan volume rongga yang terdapat diantara butir-butir agregat

dari suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, termasuk didalamnya adalah rongga udara dan rongga yang terisi aspal efektif, dinyatakan dalam % volume.

Nilai VMA dipengaruhi oleh faktor pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VMA berpengaruh pada sifat kedap air campuran terhadap air dan udara serta sifat elastis campuran. Dapat juga dikatakan bahwa nilai VMA menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Nilai VMA yang disyaratkan adalah minimum 15%. Nilai VMA dihitung dengan persamaan 3.2.

$$VMA = \frac{100 - Gmb \times Ps}{Gsb} \dots\dots\dots(3.2)$$

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

Menurut Sukirman (2003) Rongga Dalam Campuran (VIM) adalah volume pori yang masih tersisa setelah campuran beton dipadatkan. VIM dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur. VIM yang terlalu besar akan menyebabkan beton aspal padat berkurang kedap airnya, sehingga berakibat pada meningkatnya proses oksidasi aspal yang akan mempercepat penuaan aspal dan akan menurunkan sifat durabilitas beton aspal.

Namun, jika VIM terlalu kecil akan mengakibatkan terjadinya bleeding saat temperatur meningkat.

Petunjuk Pelaksanaan Departemen Pekerjaan Umum tentang Lapis Aspal Beton (Laston) untuk Jalan Raya, SKBI-2.4.26.1987 Rongga didalam campuran adalah perbandingan volume rongga terhadap volume total campuran padat, yang dinyatakan dalam persen (%). Nilai VIM yang disyaratkan adalah 3%-5%. Nilai VIM yang terlalu rendah akan menyebabkan *bledding* karena pada suhu yang tinggi viskositas aspal menurun sesuai sifat termoplastisnya. Pada saat itu apabila lapis perkerasan menerima beban lalu lintas maka aspal akan terdesak keluar permukaan karena tidak cukupnya rongga bagi aspal untuk melakukan penetrasi dalam lapis perkerasan. Nilai VIM yang lebih dari 5% akan mengakibatkan berkurangnya keawetan lapis perkerasan, karena rongga yang terlalu besar akan mudah terjadi oksidasi. Untuk mendapatkan nilai VIM dapat dihitung dengan persamaan 3.3.

$$VIM = 100 - \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \dots \dots \dots (3.3)$$

dimana:

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

G_{mb} = Berat jenis curah campuran padat

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran

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

Rongga terisi aspal (*Void Filled Bitumen*, VFB) merupakan 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

dipengaruhi oleh faktor pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VFB berpengaruh pada sifat kededapan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastisitas campuran. Dengan kata lain VFB berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kededapan campuran terhadap air dan udara juga akan semakin tinggi, tetapi nilai VFB yang terlalu tinggi akan menyebabkan *bledding*.

Menurut Sukirman, S (2003) VFB adalah aspal yang berfungsi menyelimuti butir-butir agregat di dalam beton aspal padat. VFB inilah yang merupakan persentase volume beton aspal yang menjadi film atau selimut aspal. Nilai VFB 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 dapat dihitung dengan persamaan 3.4

$$VFB = \frac{100 (VMA - VIM)}{VMA} \dots\dots\dots(3.4)$$

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

5. Pelelehan (*Flow*)

Pelelehan (*Flow*) adalah besarnya 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 diterimanya (Nasution,2017). Deformasi yang terjadi erat kaitannya dengan sifat-sifat masha yang lain seperti stabilitas, VIM dan VFA. Nilai VIM yang besar menyebabkan berkurangnya *interlocking resistance* campuran dan dapat berakibat timbulnya deformasi. Nilai VFA yang berlebihan juga menyebabkan aspal dalam campuran berubah konsistensinya menjadi pelicin antar batuan. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar dan viskositas aspal, gradasi agregat jumlah dan temperatur pematatan.

Menurut Departemen Pekerjaan Umum pada Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal beton (Laston) untuk Jalan raya, SKBI-2.4.26.1987 *flow* adalah besarnya perubahan bentuk plastis suatu benda uji campuran beraspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas keruntuhan, dinyatakan dalam satuan panjang. Nilai pelelehan didapat dari pembacaan arloji *flow* pada alat tekan Marshall yang menyatakan deformasi benda uji dalam satuan 0,01 mm. Nilai pelelehan dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain kadar dan viskositas aspal, suhu, gradasi, dan jumlah pematatan. Nilai *flow* yang terlalu tinggi mengindikasikan campuran yang bersifat plastis dan lebih mampu mengikuti deformasi akibat beban, sedangkan *flow* yang terlalu rendah mengisyaratkan campuran tersebut memiliki rongga tak terisi aspal yang lebih tinggi dari kondisi normal, atau kandungan aspal yang terlalu rendah sehingga berpotensi retak dini dan durabilitas rendah.

6. Hasil bagi *Marshall* (*Marshall Quotient*)

Marshall Quotient (*MQ*) merupakan hasil bagi stabilitas dengan *flow*. Nilai *MQ* akan memberikan nilai fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai *MQ* berarti campuran semakin kaku, sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur. Nilai *MQ* dipengaruhi oleh stabilitas dan *flow*. Nilai *MQ* yang disyaratkan adalah 200 kg/mm – 350 kg/mm. Nilai *MQ* dibawah 200 kg/mm mengakibatkan perkerasan mudah mengalami *washboarding*, *rutting*, dan *bledding*. Sedangkan nilai *MQ* diatas 350 kg/mm mengakibatkan perkerasan menjadi kaku dan mudah mengalami retak. Untuk mendapatkan nilai *Marshall Quotient* (*MQ*) dapat dihitung dengan persamaan 3.5

$$MQ = \frac{\text{Stabilitas}}{1,02 \times \text{flowstrip} \times 0,01} \text{ (kg/mm)} \dots\dots\dots(3.5)$$

Adapun ketentuan untuk aspal keras berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dapat dilihat pada tabel. 3.7

Tabel 3.7. Ketentuan-ketentuan untuk aspal keras (Bina Marga, 2018)

No	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Type I
			Aspal Pen. 40-50
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	ASTM D5/SNI 06-2456-2011	40-50
2	Viskositas Dinamis 60°C (Pa s)	SNI 06-6441-2000	160-240
3	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	ASTM D4402/SNI 7729-2011	≥ 300
4	Titik Lembek (°C)	ASTM D36/SNI 06-2434-2011	≥ 78
5	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 75
6	Titik nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 200
7	Kelarutan dalam <i>Trichloro-ethylene</i> (%)	AASHTO T44-03	≥ 99

Tabel 3.7. Ketentuan-ketentuan untuk aspal keras (Bina Marga, 2018) (Lanjutan)

8	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1.0
9	Stabilitas Penyimpanan : Perbedaan Titik lembek ($^{\circ}\text{C}$)	ASTM D 5976 part 6.1	-

Catatan :

- Hasil pengujian adalah untuk bahan pengikat (bitumen) yang diekstraksi dengan menggunakan metoda SNI 2490 : 2008. Sedangkan untuk pengujian kelarutan dan gradasi mineral dilaksanakan pada seluruh bahan pengikat termasuk kandungan mineralnya
- Viskositas di uji juga pada temperatur 100°C dan 160°C untuk Tipe I, untuk tipe II pada temperatur 100°C dan 170°C .

7. Rongga dalam campuran pada kepadatan membal (*refusal*)

Berdasarkan Ditjen Bina Marga (1999), kepadatan mutlak dimaksudkan sebagai kepadatan tertinggi (maksimum) yang dicapai sehingga walaupun dipadatkan terus, campuran tersebut praktis tidak dapat menjadi lebih padat lagi. Menurut Yamin (2002) dan Lusyana (2007), kepadatan mutlak (*refusal density*) yaitu usaha pemadatan yang lebih besar sebagai simulasi adanya pemadatan sekunder oleh lalu lintas, hingga benda uji tidak bertambah padat lagi. Setelah beberapa tahun umur rencana, terjadinya deformasi plastis pada lapis campuran beraspal dapat dikurangi. Ketentuan sifat campuran beraspal Panas laston (AC) Limbah plastik menurut Spesifikasi Khusus Interim Campuran Beraspal Panas Menggunakan Limbah Plastik Tahun 2017 dapat dilihat pada tabel 3.8

Tabel 3.8. Ketentuan sifat campuran beraspal panas laston (AC) limbah plastik (Spesifikasi Khusus Interim, 2017)

Sifat – sifat campuran		Laston Limbah Plastik (AC_{LP})		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
Jumlah tumbukan per bidang	Min	75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075	Min	0,6		

Tabel 3.8. Ketentuan sifat campuran beraspal panas laston (AC) limbah plastik (Spesifikasi Khusus Interim, 2017) (Lanjutan)

mm dengan kadar aspal efektif	Maks.	1,4		
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0		
	Maks.	5,0		
Rongga dalam agregat (VMA)(%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	900		2000
Pelelehan (mm)	Min	2	3	
	Maks.	4	6	
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (<i>refusal</i>)	Min	2		

3.9 Aspal Beton

Aspal beton juga disebut lapis aspal beton (laston) awalnya dikembangkan di Amerika Serikat untuk memenuhi kebutuhan aspal yang tahan terhadap beban lalu lintas yang berat dan beban pesawat, dan digunakan oleh hampir semua negara di dunia. Aspal beton terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan filler dalam berbagai proporsi, menghasilkan campuran padat dan hingga terbuka (Nikolaides, 2015). Kekuatan dan stabilitas campuran berasal dari penguncian partikel agregat dan dibantu oleh kekerasan bitumen.

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah plastik jenis LDPE terhadap karakteristik Marshall menggunakan aspal keras penetrasi 40/50 merek *Shell (Shell Cariphalte PG 76)* dengan penambahan persentase plastic jenis LDPE dan menggunakan agregat XII Koto Kampar Kabupaten Kampar. Untuk mengetahui penggunaan terbaik dari pengaruh penambahan limbah plastik jenis LDPE yang digunakan pada lapisan AC-WC ditinjau dari hasil pengujian karakteristik Marshall yaitu terhadap stabilitas campuran aspal.

4.2 Lokasi Penelitian

Pengujian ini dilakukan di laboratorium PT. Virajaya Riauputra yang beralamat di Jalan Raya Pekanbaru – Bangkinang KM. 27 Desa Kualu Nenas Kabupaten Kampar seperti yang terlihat pada gambar 4.1.



Gambar.4.1. Peta lokasi PT. Virajaya Riauputra (Google Maps, 2020)

Gambar 4.1 menunjukkan lokasi penelitian berada di PT. Virajaya Riauputra (Koordinat 0,40813 , 101.26709) yang berjarak \pm 27,00 Km dari kota Pekanbaru.

4.3 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Aspal penetrasi 40/50 merek *Shell (Shell Cariphalte PG 76)*.
2. Agregat kasar dan agregat halus (Abu batu) dari *stone crusser* PT. Virajaya Riauputra Kabupaten Kampar berasal dari material XIII Koto Kampar.
3. *Filler* (Semen).
4. Plastik *Polyethylene* jenis LDPE dari bahan kantong plastik kresek.



Gambar 4.2. Material aspal penetrasi 40/50

4.4 Peralatan

Penelitian ini menggunakan peralatan sebagai berikut:

1. Alat Los Angeles
2. Saringan untuk gradasi agregat
3. Wadah pencampuran
4. Sendok besi

5. Alat pemanas material
6. Mold, yaitu cetakan sampel aspal dari besi berbentuk bulat ukuran 4 inci
7. Alat pemadat aspal beton
8. *Water batch*, yaitu tempat merendam sampel dalam waktu dan suhu tertentu
9. Alat uji Marshall.



Gambar: 4.3 Alat Marshal Test

4.5 Rancangan Campuran

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

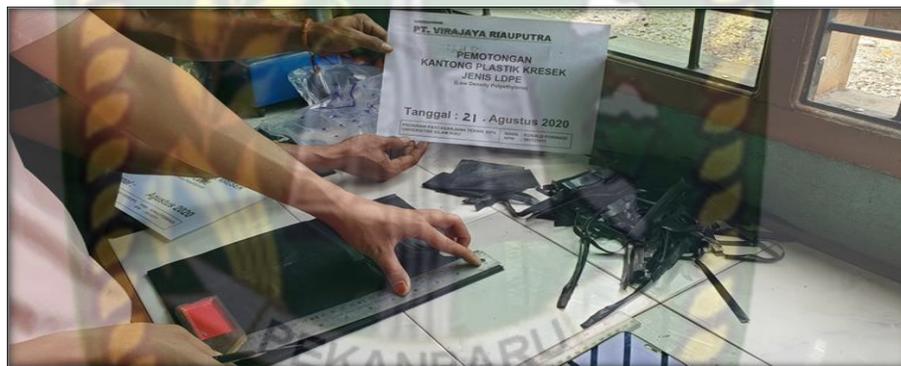
1. Berat keseluruhan benda uji 1200 gram
2. Kadar aspal 5.5 % terhadap berat keseluruhan campuran (69,6 gram).
3. Batu pecah terdiri dari:
 - a. Agregat kasar (Hot Bin 1) sebanyak 10% terhadap berat keseluruhan
 - b. Agregat halus (Hot Bin 2) sebanyak 35 % terhadap berat keseluruhan
 - c. Abu batu (Hotbin 3) sebanyak 53% terhadap berat keseluruhan
 - d. Filler (Semen) sebanyak 2% terhadap berat keseluruhan

4.6 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan yang akan dilaksanakan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Persiapan alat dan bahan.
2. Siapkan material uji sesuai dengan ketentuan berat dan jumlah
3. Keringkan agregat pada suhu 105 °C – 110 °C dalam oven untuk mencapai berat yang tetap.
4. Keluarkan dan dinginkan material, kemudian setelah dingin, ditimbang untuk memperoleh gradasi agregat yang direncanakan.
5. Uji sifat material agregat meliputi analisa saringan dan abrasi material.
6. Pengujian penetrasi dan daktilitas aspal penetrasi 40/50 type PG 76.
7. Menentukan syarat uji bahan, gradasi agregat kasar, gradasi agregat halus dan filler. Apabila bahan tidak memenuhi syarat uji, maka material diganti dan diuji kembali. Namun apabila bahan memenuhi syarat uji maka dilanjutkan ketahap pembuatan sampel.

8. Pembuatan sampel laston kadar aspal rencana untuk aspal penetrasi 40/50 PG 76 kadar 0% plastik LDPE
9. Menentukan jumlah pemakaian plastik. Untuk kadar penambahan plastik dilakukan dengan variasi; 0%, 2%, 3 %, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% terhadap berat aspal. Bentuk ukuran pemotongan plastik yang digunakan adalah 0,5 cm x 30 cm, memudahkan pada proses penyiapan bahan pada saat pencampuran aspal dengan plastik. Kadar aspal yang digunakan adalah 5,5% terhadap berat keseluruhan campuran aspal beton untuk Laston Lapis Aus (AC-WC).



Gambar 4.4. pemotongan material plastik ukuran 0,5 cm x 30 cm

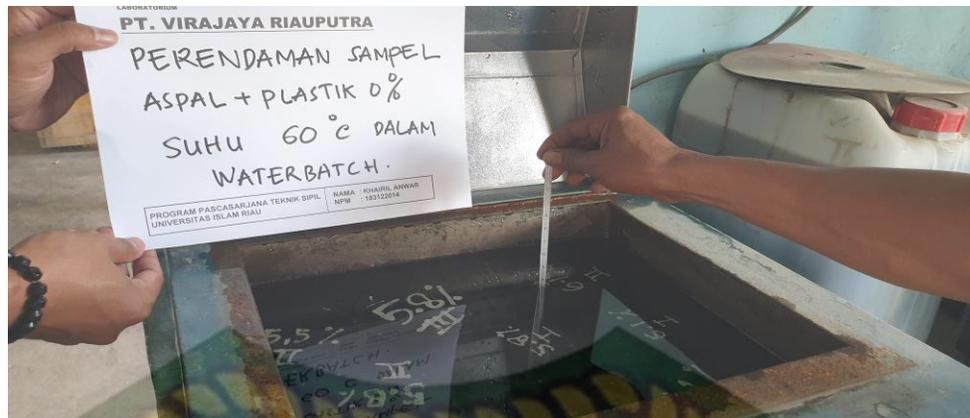
10. Panaskan agregat hingga mencapai suhu pencampuran.
11. Bahan dicampur secara merata dan homogen sesuai dengan komposisi yang sudah dibuat. Teknik pencampuran plastik dilakukan dengan cara basah.
12. Sampel yang sudah tercampur merata dimasukkan dalam *mold* yang terbuat dari besi dan telah dilapisi dengan kertas saring. Campuran yang telah berada dalam *mold* ditusuk-tusuk dengan menggunakan spatula pada seluruh bagian agar seluruh rongga dalam mold terisi aspal.
13. Tutup bagian atas *mold* dengan menggunakan kertas saring.

14. Gunakan alat pemukul untuk menumbuk sampel sebanyak 75 kali pada masing-masing sisi.
15. Diamkan sampel yang dipadatkan selama 5 jam.
16. Buka sampel dari mold dengan menggunakan dongkrak.
17. Bersihkan sampel dari material yang lepas dipermukaan setelah dikeluarkan dari *mold*. Sampel kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat kering.
18. Sampel dibuat sebanyak 3 (tiga) 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.



Gambar 4.5. Contoh sampel aspal campuran plastik

19. Sampel kemudian direndam di dalam wadah selama 24 jam. Setelah 24 jam, sampel ditimbang di dalam air untuk mengetahui berat sampel dalam air.
20. Angkat sampel kemudian keringkan dan timbang sebagai berat kering permukaan.
21. Rendam sampel dalam *water batch* selama 45 menit dengan suhu air 60°C .



Gambar 4.6. Proses perendaman sampel aspal dalam water batch

22. Letakkan benda uji pada pelat Marshall dan atur arloji pengukur kelelahan.
23. Lakukan tes *Marshall* dan pengujian sampel dengan cara memberikan pembebanan pada tiap-tiap sampel

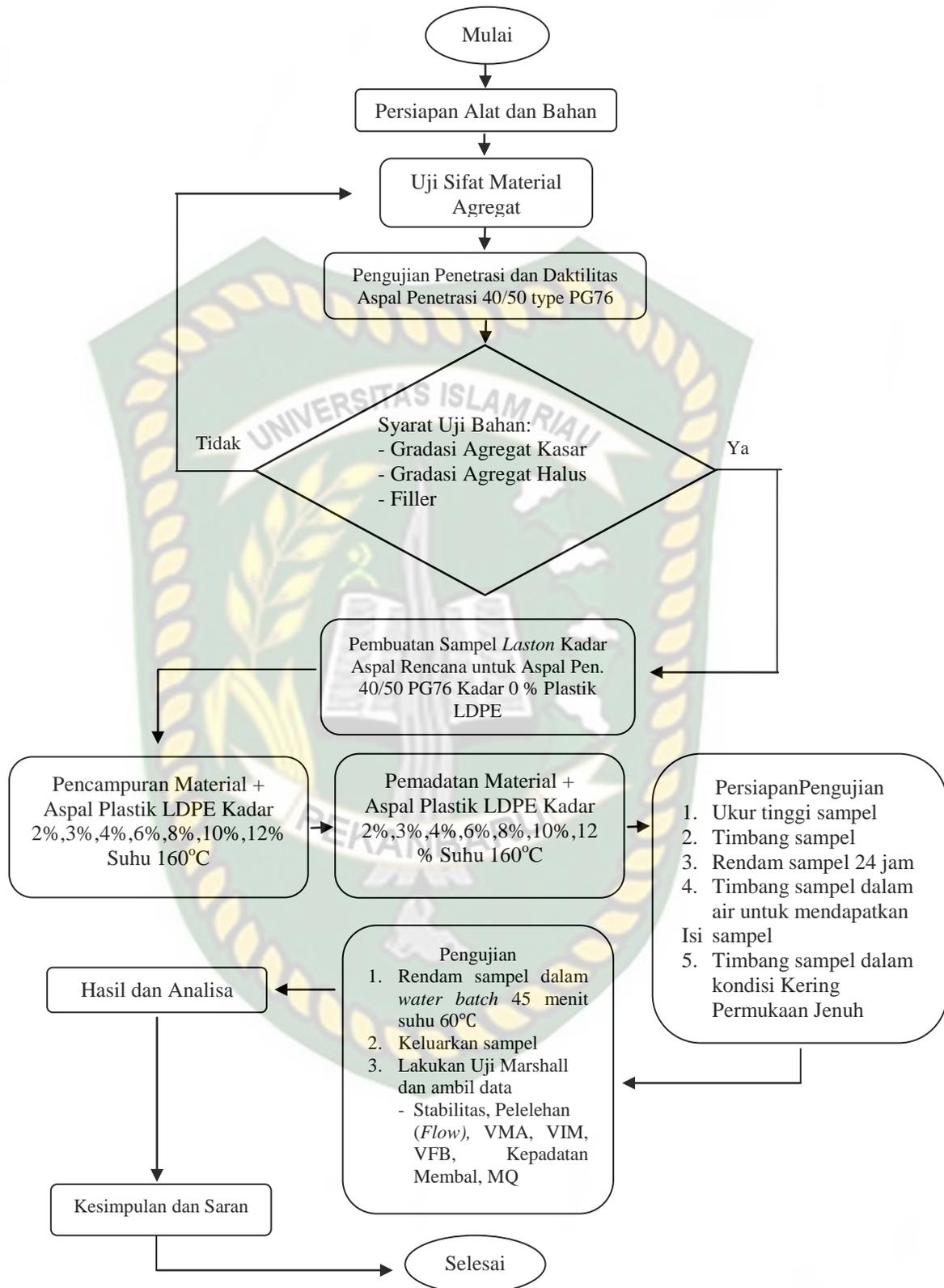


Gambar 4.7. Pengujian alat Marshall

24. Analisis data hasil pengujian.

Data yang didapat dari pengujian material dan pembuatan sampel masing-masing campuran kadar aspal dan plastik dicatat dan dimasukkan dalam formulir tabel pengujian. Kemudian data tersebut dianalisa dengan program Microsoft Excel serta dianalisa dalam hasil dan pembahasan.

Adapun tahapan pelaksanaan pengujian selanjutnya digambarkan dalam Gambar 4.2 berikut.

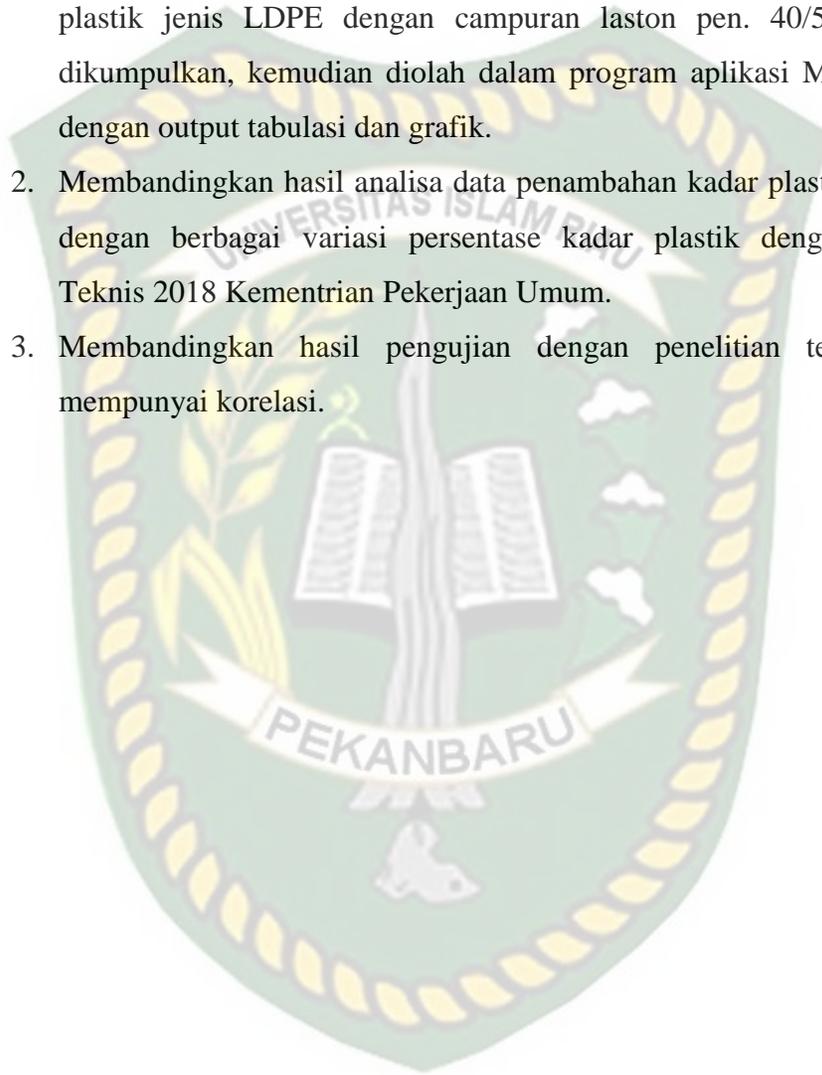


Gambar 4.8. Bagan Alir (Flow Chart) Penelitian

4.7 Analisa Data

Tahapan analisa data pada pengujian ini dilakukan dengan cara:

1. Data yang diperoleh dari setiap pengujian sampel pada penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan campuran laston pen. 40/50 dicatat dan dikumpulkan, kemudian diolah dalam program aplikasi Microsoft Excel dengan output tabulasi dan grafik.
2. Membandingkan hasil analisa data penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan berbagai variasi persentase kadar plastik dengan Spesifikasi Teknis 2018 Kementerian Pekerjaan Umum.
3. Membandingkan hasil pengujian dengan penelitian terdahulu yang mempunyai korelasi.



BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Dari hasil pembacaan pengujian penambahan material limbah plastik LDPE sebagai bahan tambah campuran laston AC-WC, aspal penetrasi 40/50 PG 76 menggunakan alat Marshall test dilakukan perhitungan dan analisa karakteristik Marshall.

5.2 Abrasi

Pada pemeriksaan abrasi material XIII Koto Kampar menurut SNI 2417-2008, dapat dilihat pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil 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 %	29,2 %	Memenuhi

Dari tabel 5.1 diperoleh hasil pengujian abrasi material XIII Koto Kampar yang akan dipakai sebagai agregat campuran aspal memiliki hasil pengujian abrasi 29,2%, lebih kecil dari nilai abrasi yang dipersyaratkan sesuai spesifikasi teknis 2018. Batas maksimum keausan agregat setelah dilakukan pengujian abrasi dengan mesin Los Angeles adalah 40%. Material agregat tersebut memenuhi syarat untuk perencanaan dalam pelaksanaan campuran aspal.



Gambar 5.1 Pengujian Abrasi Material Agregat XIII Koto Kampar

5.3 Gradasi Gabungan

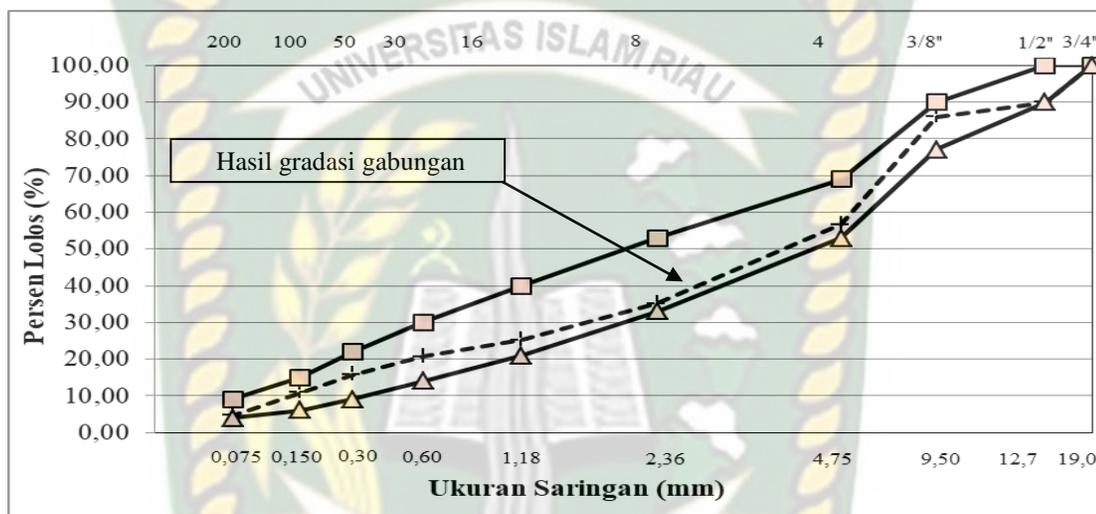
Hasil kombinasi analisis saringan agregat kasar dan halus dapat dilihat pada tabel 5.2 dan gambar 5.2 terhadap nilai amplop gradasi agregat berdasarkan Spesifikasi Teknis 2018.

Tabel 5.2 Nilai Amplop 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 tabel 5.2 diperoleh hasil pengujian gradasi gabungan terhadap persentase agregat yang lolos saringan 3/4" sebesar ; 100 %, saringan 1/2" ; 90,01 %, saringan 3/8" ; 86,04 %, saringan No.4 ; 56,60 %, saringan No.8 ; 35,09 %, saringan No.16 ;

25,13 %, saringan No.30 ; 20,66 %, saringan No.50 ; 15,68 %, saringan No.100 ; 10,91 %, saringan No.200 ; 4,66 %. Sehingga berdasarkan pengujian material agregat terhadap persentase agregat yang lolos saringan memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 untuk pembuatan campuran laston ACWC. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.2 perihal hasil gradasi gabungan untuk campuran laston ACWC.



Gambar 5.2 Hasil Gradasi Gabungan

Dari Gambar 5.2 dilihat bahwa hasil pengujian gradasi gabungan terhadap persentase agregat yang lolos saringan didalam batasan berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 memenuhi syarat, dimana batasan ukuran ayakan 3/4" antara 100 %, ukuran ayakan 1/2" antara 90 – 100 %, ukuran ayakan 3/8" antara 77 – 90 %, ukuran ayakan No.4 antara 53 – 69 %, ukuran ayakan No.8 antara 33 – 53 %, ukuran ayakan No.16 antara 21 – 40 %, ukuran ayakan No.30 antara 14 – 30 %, ukuran ayakan No.50 antara 9 – 22 %, ukuran ayakan No.100 antara 6 – 15 %, dan ukuran ayakan No.200 antara 4 – 9 %. Sehingga gradasi gabungan untuk campuran laston ACWC memenuhi syarat Spesifikasi Bina Marga 2018.

5.4 Penetrasi

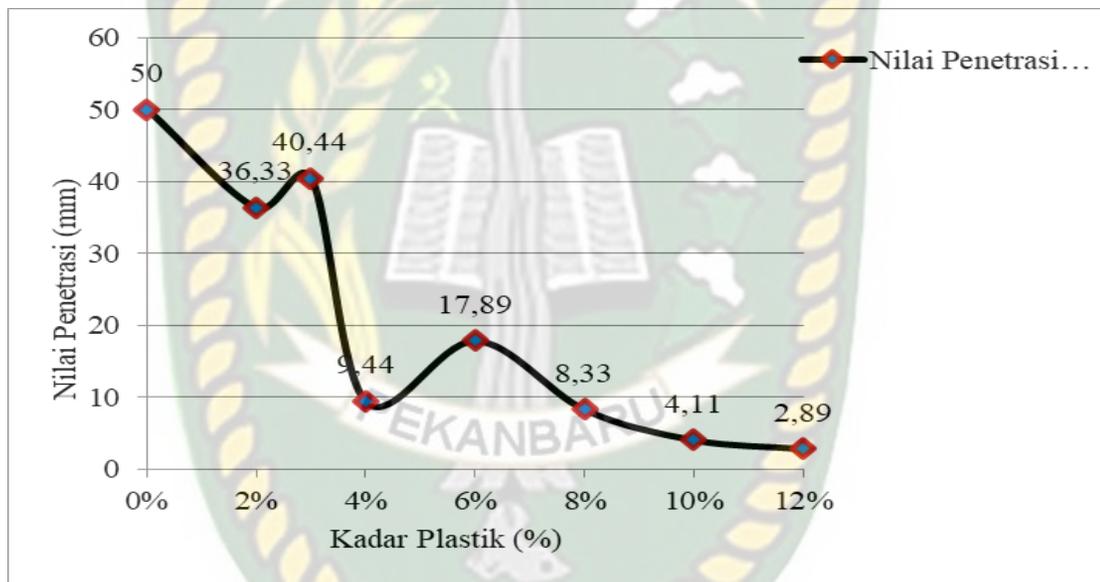
Aspal merupakan bahan pengikat agregat yang mutu dan jumlahnya sangat menentukan keberhasilan suatu campuran beraspal yang merupakan bahan jalan. Salah satu jenis pengujian dalam menentukan persyaratan mutu aspal adalah penetrasi aspal yang merupakan sifat rheologi aspal yaitu kekerasan aspal (SNI, 2011). Hasil pengujian penetrasi penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 diperoleh data yang dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel.5.3. Nilai Penetrasi setiap Penambahan Persentase Kadar Plastik LDPE .

Persentase Kadar Penambahan Plastik (%)	Nilai Penetrasi Untuk Aspal Keras PG 76 sesuai Spesifikasi Teknis 2018	Hasil Pengujian Penetrasi	Keterangan
0%	≥ 50	50	Memenuhi
2%	≥ 50	36,33	Tidak Memenuhi
3%		40,44	Tidak Memenuhi
4%		9,44	Tidak Memenuhi
6%		17,89	Tidak Memenuhi
8%		8,33	Tidak Memenuhi
10%		4,11	Tidak Memenuhi
12%		2,89	Tidak Memenuhi

Dari Tabel 5.3 dapat dilihat hasil pengujian penetrasi penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50. Dari hasil pengujian penetrasi penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0% diperoleh sebesar 50 mm, kadar LDPE 2% diperoleh sebesar 36,33 mm, kadar LDPE 3% diperoleh sebesar 40,44 mm, kadar LDPE 4% diperoleh sebesar 9,44 mm, kadar LDPE 6% diperoleh

sebesar 17,89 mm, kadar LDPE 8% diperoleh sebesar 8,33 mm, kadar LDPE 10% diperoleh sebesar 4,11 mm, kadar LDPE 12% diperoleh sebesar 2,89 mm. Sehingga hasil pengujian penetrasi penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 tidak memenuhi, dimana syarat penetrasi menurut Spesifikasi Teknis 2018 adalah ≥ 50 mm. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.3 perihal grafik hubungan kadar plastik dan LDPE terhadap nilai Penetrasi aspal.



Gambar.5.3. Hubungan Kadar Plastik LDPE dan Nilai Penetrasi

Dari Gambar 5.3 dilihat hubungan kadar plastik dan LDPE terhadap nilai penetrasi. Penetrasi adalah kekerasan yang dinyatakan sebagai kedalaman masuknya jarum penetrasi standar secara vertikal dalam satuan 0,1 mm pada kondisi beban, waktu dan temperatur yang diketahui (SNI, 2011). Konsistensi aspal dapat diukur dengan melakukan uji penetrasi. Semakin tinggi nilai penetrasi menunjukkan lebih lunak konsistensi aspal. Dari hasil pengujian penetrasi terhadap penambahan kadar

plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 konsistensi aspal menurun dibanding sebelum dicampur plastik. Semakin rendah nilai penetrasi menunjukkan konsistensi aspal menjadi bertambah keras. Penambahan plastik ke dalam aspal akan meningkatkan titik leleh aspal dan menurunkan nilai penetrasi. Dengan demikian aspal tidak peka terhadap perubahan temperatur atau nilai penetrasi indeks akan meningkat sehingga stiffness modulus aspal akan meningkat yang pada akhirnya akan meningkatkan daya tahan perkerasan terhadap deformasi (Suroso, 2009).

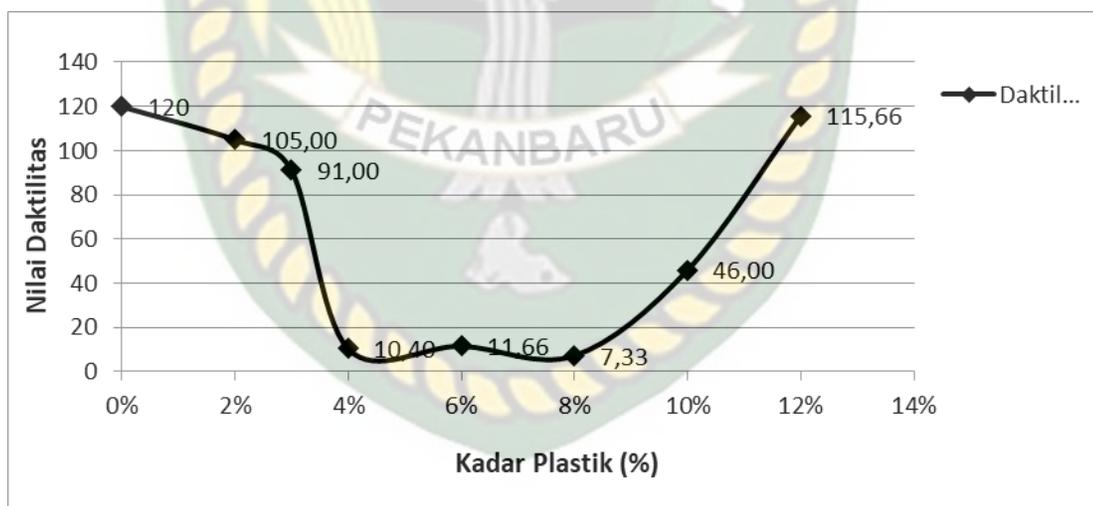
5.5 Daktilitas

Daktilitas adalah sifat elastisitas aspal yang diukur pada saat putus (SNI, 2011). Hasil pengujian daktilitas terhadap penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 diperoleh data yang dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel.5.4. Nilai Daktilitas Setiap Penambahan Persentase Kadar Plastik LDPE .

Persentase Kadar Penambahan Plastik (%)	Spesifikasi Teknis 2018 Untuk Daktilitas Aspal Keras PG 76	Hasil Pengujian Daktilitas pada 25 °C (cm)	Keterangan
0%	≥ 25	120	Memenuhi
2%		105	Memenuhi
3%		91	Memenuhi
4%		10,4	Tidak Memenuhi
6%		11,66	Tidak Memenuhi
8%		7,33	Tidak Memenuhi
10%		46	Memenuhi
12%		115,66	Memenuhi

Dari Tabel 5.4 dapat dilihat hasil pengujian daktilitas dengan penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50. Dari hasil pegujian daktilitas dengan penambahan kadar plastik jenis LDPE menggunakan kadar 0% didapat 120 cm (memenuhi), kadar LDPE 2% didapat 105 cm (memenuhi), kadar LDPE 3% didapat 91 cm (memenuhi), kadar LDPE 4% didapat panjang 10,4 cm (tidak memenuhi), kadar LDPE 6% didapat 11,66 cm (tidak memenuhi), kadar LDPE 8% didapat 7,33 cm (tidak memenuhi), kadar LDPE 10% didapat 46 cm (memenuhi), dan kadar LDPE 12% didapat 115,66 cm (memenuhi), dimana syarat Daktilitas menurut Spesifikasi Teknis 2018 adalah ≥ 25 cm. Untuk jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.4. perihal grafik hubungan kadar plastik dan LDPE terhadap nilai daktilias aspal.



Gambar 5.4. Hubungan Kadar Plastik LDPE dan Nilai Daktilitas

Dari Gambar 5.4 dapat dilihat hubungan penambahan kadar plastik LDPE terhadap nilai daktilitas aspal. Daktilitas merupakan sifat pemuluran aspal yang diukur pada saat putus (SNI, 2011). Pemeriksaan daktilitas merupakan cara untuk

mengetahui sifat kohesi dalam aspal itu sendiri. Pemeriksaan dilakukan dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi bitumen keras sebelum putus pada bak daktilitas yang berisi campuran air dengan gliserin. Fungsi dari gliserin adalah sebagai campuran dalam air agar aspal melayang, karena berat jenis gliserin lebih besar dari berat jenis aspal. Pengujian daktilitas dilakukan pada suhu 25 °C dan dengan kecepatan 5 cm/menit.

Dari hasil pengujian daktilitas dengan penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 diperoleh hasil Daktilitas yang memenuhi syarat seperti pada penambahan kadar plastik jenis LDPE menggunakan kadar 0% sebesar 120 cm, kadar LDPE 2% sebesar 105 cm, kadar LDPE 3% sebesar 91 cm, kadar LDPE 10% sebesar 46 cm, dan kadar LDPE 12% sebesar 115,66 cm, sesuai dengan syarat daktilitas menurut Spesifikasi Teknis 2018 adalah ≥ 25 cm. Sedangkan dari hasil pengujian daktilitas dengan penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 4%, 6%, 8%, dengan menggunakan aspal keras PG 76 pen 40/50 diperoleh hasil daktilitas tidak memenuhi syarat. Sehingga dapat disimpulkan dari semua nilai daktilitas aspal yang diperoleh, semakin tinggi penambahan kadar plastik jenis LDPE pada aspal keras pen 40/50 PG 76 maka menyebabkan aspal bertambah getas dan mudah putus.

5.6 Analisis Data *Marshall Test*

Dari hasil pengujian yang dilakukan dengan menggunakan alat *Marshall Test* terhadap penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%,

3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 di peroleh data Stabilitas (*Stability*), Pelelehan (*Flow*), Rongga dalam agregat (*Void in Mineral Agregate*), Rongga dalam campuran (*Void In The Mix*), Rongga terisi Aspal (*Void Filled with Bitumen, VFB*), Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal), dan *Marshall Question* (MQ) sebagai berikut :

5.6.1 Stabilitas (*Stability*)

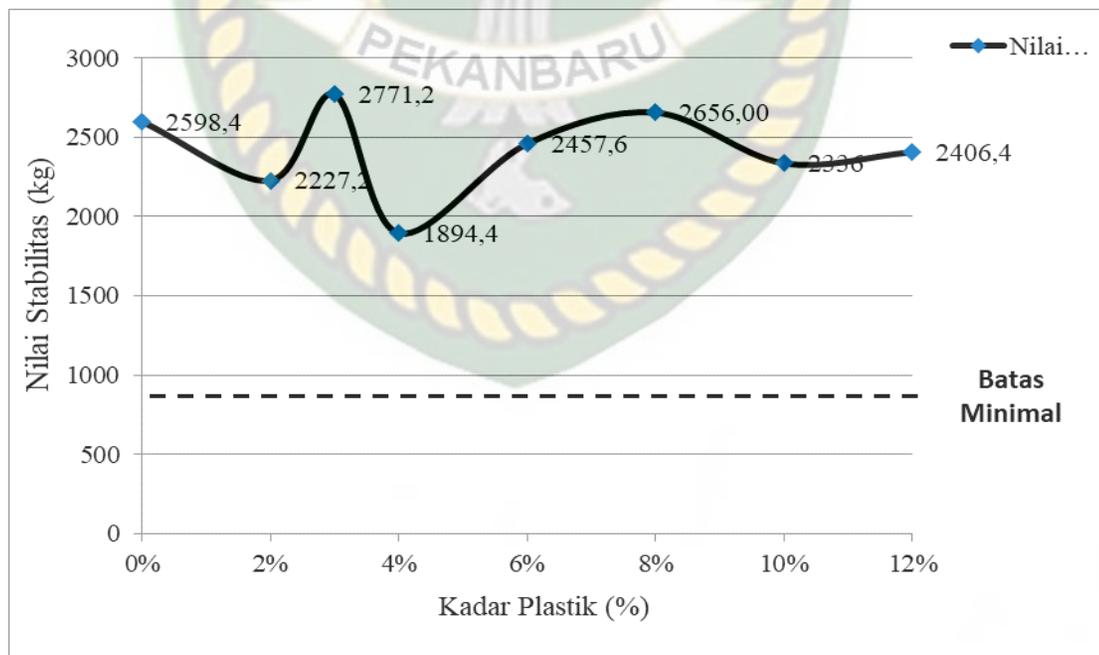
Dari hasil pengujian dengan menggunakan alat *Marshall Test* terhadap penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 diperoleh nilai Stabilitas aspal yang dapat dilihat pada Tabel 5.5

Tabel 5.5. Nilai Stabilitas Marshall terhadap Penambahan Persentase Kadar Plastik LDPE

Persentase Kadar Penambahan Plastik (%)	Spesifikasi Teknis 2018 Untuk Stabilitas Aspal Keras PG 76 (Kg)	Hasil Pengujian Stabilitas (Kg)	Keterangan
0%	Minimal 1000	2.598,4	Memenuhi
2%		2.227,2	Memenuhi
3%		2.771,2	Memenuhi
4%		1.894,4	Memenuhi
6%		2.457,6	Memenuhi
8%		2.656	Memenuhi
10%		2.336	Memenuhi
12%		2.406,4	Memenuhi

Dari Tabel 5.5 dapat dilihat hasil pengujian dengan menggunakan alat *Marshall Test* terhadap nilai Stabilitas aspal akibat penambahan kadar plastik jenis

LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50. Dari hasil pegujian *Marshall Test* yang ditinjau terhadap nilai Stabilitas (*Stability*) dengan penambahan kadar plastik jenis LDPE menggunakan kadar 0% diperoleh sebesar 2.598,4 Kg (memenuhi), kadar 2% diperoleh sebesar 2.227,2 Kg (memenuhi), kadar 3% diperoleh sebesar 2.771,2 Kg (memenuhi), kadar 4% diperoleh sebesar 1.894,4 Kg (memenuhi), kadar 6% diperoleh sebesar 2.457,6 Kg (memenuhi), kadar 8% diperoleh sebesar 2.656 Kg (memenuhi), kadar 10% diperoleh sebesar 2.336 Kg (memenuhi), kadar 12% diperoleh sebesar 2.406,4 Kg (memenuhi), dimana syarat nilai Stabilitas aspal menurut Spesifikasi Teknis 2018 adalah minimal 1.000 Kg. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.5 perihal grafik hubungan nilai Stabilitas Marshall terhadap penambahan persentase kadar plastik LDPE.



Gambar 5.5 Hubungan Kadar Plastik LDPE dan Nilai Stabilitas Marshall

Dari Gambar 5.5 dapat dilihat grafik hubungan nilai Stabilitas Marshall terhadap penambahan persentase kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50. Stabilitas merupakan kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi alir (*flow*) yang dinyatakan dalam kilogram (SNI, 1991). Nilai Stabilitas dipengaruhi oleh bentuk, kualitas, tekstur permukaan dan gradasi agregat yaitu gesekan antar butiran agregat (*internal friction*) dan penguncian antar agregat (*interlocking*), daya lekat (*cohesion*) dan kadar aspal dalam campuran. Nilai stabilitas tiap sampel diperoleh langsung dari hasil bacaan test Marshall. Dari hasil bacaan tersebut kemudian dikonversikan dengan faktor pengali alat sehingga diperoleh nilai stabilitas riil dari sampel.

Dari hasil pengujian dengan metode pencampuran cara basah diperoleh hasil fluktuatif terhadap setiap penambahan kadar plastik jenis LDPE terhadap nilai Stabilitas aspal. Berdasarkan hasil pengujian dengan penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 diperoleh nilai Stabilitas aspal memenuhi syarat sesuai dengan syarat Stabilitas aspal, dimana menurut Spesifikasi Teknis 2018 adalah minimal 1.000 Kg. Hal ini disebabkan karena meratanya penyebaran plastik LDPE untuk setiap kadar ketika dilakukan pencampuran plastik LDPE dengan aspal yang sudah panas pada suhu 160 °C dan mencair di dalam wadah sehingga dari

keseluruhan nilai stabilitas yang didapatkan terlihat nilainya diatas nilai minimum yang disyaratkan.



Gambar 5.6 Pengujian Stabilitas Marshall Aspal 0% Plastik LDPE

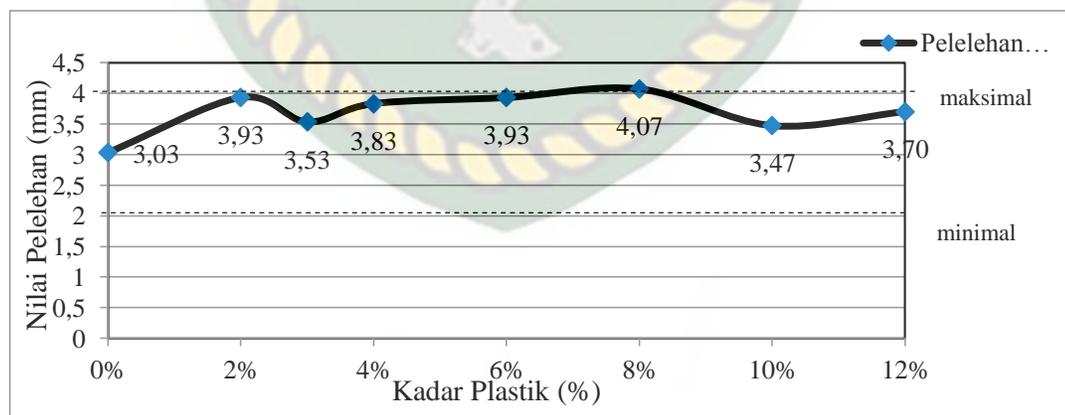
5.6.2 Pelelehan (*Flow*)

Dari hasil pengujian dengan menggunakan alat *Marshall Test* terhadap penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 diperoleh nilai Pelelehan (*Flow*) aspal yang dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel.5.6. Nilai Pelelehan (*Flow*) terhadap Penambahan Persentase Kadar Plastik LDPE

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 - Mak. 4	3,03	Memenuhi
2%		3,93	Memenuhi
3%		3,53	Memenuhi
4%		3,83	Memenuhi
6%		3,93	Memenuhi
8%		4,07	Tidak Memenuhi
10%		3,47	Memenuhi
12%		3,70	Memenuhi

Dari Tabel 5.6 dapat dilihat hasil pengujian dengan menggunakan alat *Marshall Test* terhadap Pelelehan (*Flow*) akibat penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50. Dari hasil pegujian *Marshall Test* yang ditinjau terhadap nilai Pelelehan (*Flow*) dengan penambahan kadar plastik jenis LDPE menggunakan kadar 0% diperoleh sebesar 3,03 mm (memenuhi), kadar 2% diperoleh sebesar 3,93 mm (memenuhi), kadar 3% diperoleh sebesar 3,53 mm (memenuhi), kadar 4% diperoleh sebesar 3,83 mm (memenuhi), kadar 6% diperoleh sebesar 3,93 mm (memenuhi), kadar 8% diperoleh sebesar 4,07 mm (tidak memenuhi), kadar 10% diperoleh sebesar 3,47 mm (memenuhi), kadar 12% diperoleh sebesar 3,70 mm (memenuhi), dimana syarat nilai Pelelehan (*Flow*) menurut Spesifikasi Teknis 2018 adalah minimal 2 mm dan maksimal 4 mm. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.7 perihal grafik hubungan nilai Pelelehan (*Flow*) terhadap penambahan persentase kadar plastik LDPE.



Gambar 5.7 Hubungan Kadar Plastik LDPE dan Nilai Pelelehan (*Flow*)

Dari Gambar 5.7 dapat dilihat grafik hubungan nilai Pelelehan (*Flow*) terhadap penambahan persentase kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50. Pelelehan (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran beraspal pada saat runtuh yang dinyatakan dalam mm (SNI, 2003). Nilai pelelehan dapat menjadi indikator terhadap lentur.

Dari hasil pengujian dengan metode pencampuran cara basah diperoleh hasil fluktuatif terhadap setiap penambahan kadar plastik jenis LDPE terhadap nilai Pelelehan (*Flow*). Berdasarkan hasil pengujian dengan penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 diperoleh nilai Pelelehan (*Flow*) memenuhi syarat sesuai Spesifikasi Teknis 2018 adalah minimal 2 mm dan maksimal 4 mm.

Pada penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 8%, dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 diperoleh nilai Pelelehan (*Flow*) sebesar 4,07 mm (tidak memenuhi) / melebihi nilai pelelehan yang disyaratkan. Apabila penambahan plastik kadar 8 % ini digunakan pada perkerasan lentur akan menyebabkan berubah bentuk (*deformasi plastis*) terhadap campuran aspal.

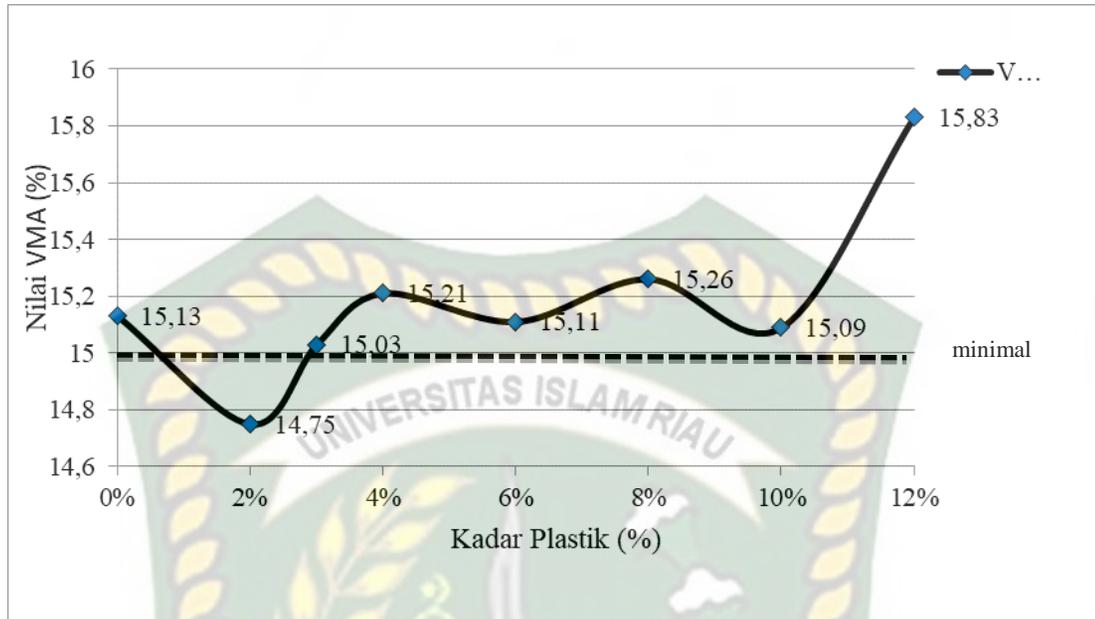
5.6.3 Rongga dalam agregat (*Void in Mineral Agregate*)

Dari hasil pengujian dengan menggunakan alat *Marshall Test* terhadap penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 diperoleh nilai rongga dalam agregat (*void in mineral agregate*) yang dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel.5.7. Nilai Rongga Dalam Agregat (*Void In Mineral Agregate*) terhadap Penambahan Persentase Kadar Plastik LDPE

Persentase Kadar Penambahan Plastik (%)	Spesifikasi Teknis 2018 Rongga dalam Agregat (VMA)	Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Keterangan
0%	Minimal 15%	15,13	Memenuhi
2%		14,75	Tidak Memenuhi
3%		15,03	Memenuhi
4%		15,21	Memenuhi
6%		15,11	Memenuhi
8%		15,26	Memenuhi
10%		15,09	Memenuhi
12%		15,83	Memenuhi

Dari Tabel 5.7 dapat dilihat hasil pengujian dengan menggunakan alat *Marshall Test* terhadap rongga dalam agregat akibat penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50. Dari hasil pengujian *Marshall Test* yang ditinjau terhadap nilai rongga dalam agregat dengan penambahan kadar plastik jenis LDPE menggunakan kadar 0% diperoleh sebesar 15,13% (memenuhi), kadar 2% diperoleh sebesar 14,75% (tidak memenuhi), kadar 3% diperoleh sebesar 15,03% (memenuhi), kadar 4% diperoleh sebesar 15,21% (memenuhi), kadar 6% diperoleh sebesar 15,11% (memenuhi), kadar 8% diperoleh sebesar 15,26% (memenuhi), kadar 10% diperoleh sebesar 15,09% (memenuhi), kadar 12% diperoleh sebesar 15,83% (memenuhi), dimana syarat nilai rongga dalam agregat menurut Spesifikasi Teknis 2018 adalah minimal 15%. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.8 perihal grafik hubungan nilai VMA terhadap penambahan persentase kadar plastik LDPE.



Gambar 5.8 Hubungan Kadar Plastik LDPE dan Nilai Rongga dalam Agregat (VMA)

Dari Gambar 5.8 dapat dilihat grafik hubungan nilai rongga dalam agregat (*void in mineral aggregate*) terhadap penambahan persentase kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50. Rongga dalam agregat (*Void in Mineral Agregate*) adalah rongga udara yang ada di antara mineral agregat didalam campuran beraspal yang sudah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal, dinyatakan dalam persen terhadap volume total campuran (SNI, 1991). VMA digunakan untuk sebagai ruang untuk menampung aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran beraspal.

Dari hasil pengujian dengan metode pencampuran cara basah diperoleh hasil fluktuatif terhadap setiap penambahan kadar plastik jenis LDPE terhadap nilai rongga

dalam agregat. Berdasarkan hasil pengujian dengan penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 diperoleh nilai rongga dalam agregat memenuhi syarat VMA, dimana menurut Spesifikasi Teknis 2018 adalah minimal 15%. VMA yang paling besar terjadi pada pencampuran kadar plastik 12% dengan nilai VMA sebesar 15,83%, ini menunjukkan bahwa dengan penambahan kadar plastic jenis LDPE mempengaruhi besarnya nilai VMA pada aspal.

Pada penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 2%, dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 diperoleh nilai rongga dalam agregat sebesar 14,75 % (tidak memenuhi) atau kurang dari nilai rongga dalam agregat yang disyaratkan. Hal ini menunjukkan bahwa pada penambahan kadar plastik 2% jenis LDPE mengurangi VMA sehingga dapat menyebabkan deformasi plastis.

5.6.4 Rongga dalam campuran (*Void In The Mix/VIM*)

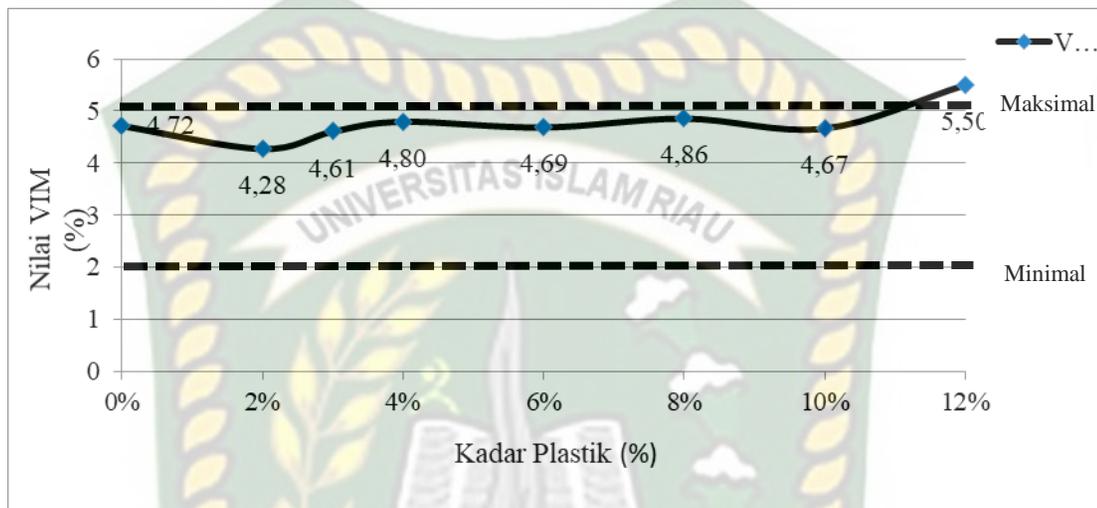
Dari hasil pengujian dengan menggunakan alat *Marshall Test* terhadap penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 diperoleh nilai rongga dalam campuran (*void in the mix*) yang dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel.5.8. Nilai Rongga Dalam Campuran (*Void In The Mix*) terhadap Penambahan Persentase Kadar Plastik LDPE

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%		4,28	Memenuhi
3%		4,61	Memenuhi
4%		4,80	Memenuhi
6%		4,69	Memenuhi
8%		4,86	Memenuhi
10%		4,67	Memenuhi
12%		5,50	Tidak Memenuhi

Dari Tabel 5.8 dapat dilihat hasil pengujian dengan menggunakan alat *Marshall Test* terhadap rongga dalam campuran (*void in the mix*) akibat penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50. Dari hasil pegujian *Marshall Test* yang ditinjau terhadap nilai VIM dengan penambahan kadar plastik jenis LDPE menggunakan kadar 0% diperoleh sebesar 4,72% (memenuhi), kadar 2% diperoleh sebesar 4,28% (memenuhi), kadar 3% diperoleh sebesar 4,61% (memenuhi), kadar 4% diperoleh sebesar 4,80% (memenuhi), kadar 6% diperoleh sebesar 4,69% (memenuhi), kadar 8% diperoleh sebesar 4,86% (memenuhi), kadar 10% diperoleh sebesar 4,67% (memenuhi), dan kadar 12% diperoleh sebesar 5,50% (tidak memenuhi), dimana syarat nilai rongga dalam campuran (*void in the mix*) menurut

Spesifikasi Teknis 2018 adalah minimal 3% dan maksimal 5%. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 5.9 perihal grafik hubungan nilai rongga dalam campuran (*void in the mix*) terhadap penambahan persentase kadar plastik LDPE.



Gambar 5.9 Hubungan Kadar Plastik LDPE dan Nilai Rongga Dalam Campuran (VIM)

Dari gambar 5.9 dapat dilihat grafik rongga dalam campuran (*void in the mix*) terhadap penambahan persentase kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50. Rongga dalam campuran (*void in 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). Nilai rongga dalam campuran mempengaruhi keawetan suatu campuran aspal. Nilai VIM yang terlalu tinggi menyebabkan campuran aspal mudah teroksidasi. Sebaliknya, nilai VIM yang terlalu rendah menyebabkan perkerasan mudah mengalami lendutan (*bleeding*).

Dari hasil pengujian dengan metode pencampuran cara basah diperoleh hasil fluktuatif terhadap setiap penambahan kadar plastik jenis LDPE terhadap nilai VIM. Berdasarkan hasil pengujian dengan penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8% dan 10% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 diperoleh nilai VIM memenuhi syarat sesuai dengan syarat rongga dalam campuran menurut Spesifikasi Teknis 2018 adalah minimal 3% dan maksimal 5%. Sehingga kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8% dan 10% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 dapat dipakai dan diaplikasikan di lapangan karena dapat mengatasi pemadatan tambahan yang terjadi akibat beban lalu lintas.

Pada penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 12%, dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 diperoleh nilai rongga dalam campuran (*void in the mix*) sebesar 5,50 % (tidak memenuhi) dari nilai rongga dalam campuran (*void in the mix*) yang disyaratkan. Sehingga kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 tidak bisa dipakai karena akan menyebabkan kelelahan yang semakin cepat, berupa alur dan retak.

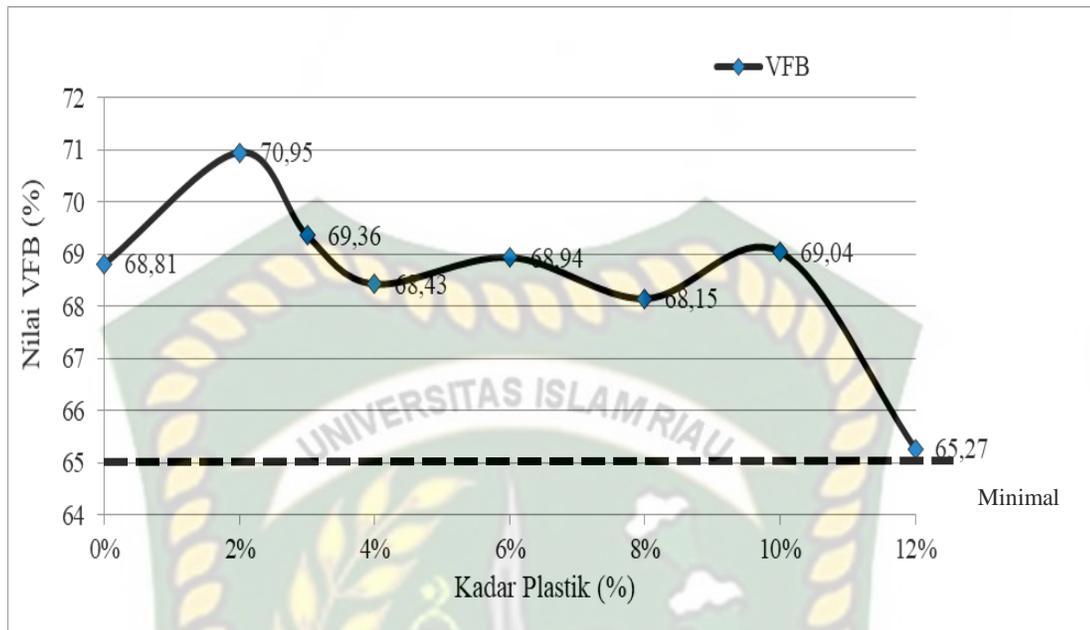
5.6.5 Rongga Terisi Aspal (*Void Filled with Bitumen, VFB*)

Dari hasil pengujian dengan menggunakan alat *Marshall Test* terhadap penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 diperoleh nilai rongga terisi aspal (*void filled with bitumen, VFB*) yang dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel.5.9. Nilai Rongga Terisi Aspal (*Void Filled With Bitumen, VFB*) Terhadap Penambahan Persentase Kadar Plastik LDPE

Persentase Kadar Penambahan Plastik (%)	Spesifikasi Teknis 2018 Rongga terisi Aspal (VFB)	Rongga Terisi Aspal (VFB) %	Keterangan
0%	Min. 65 %	68,81	Memenuhi
2%		70,95	Memenuhi
3%		69,36	Memenuhi
4%		68,43	Memenuhi
6%		68,94	Memenuhi
8%		68,15	Memenuhi
10%		69,04	Memenuhi
12%		65,27	Memenuhi

Dari Tabel 5.9 dapat dilihat hasil pengujian dengan menggunakan alat *Marshall Test* terhadap rongga terisi aspal (*void filled with bitumen, VFB*) akibat penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50. Dari hasil pengujian *Marshall Test* yang ditinjau terhadap nilai VFB dengan penambahan kadar plastik jenis LDPE menggunakan kadar 0% diperoleh sebesar 68,81% (memenuhi), kadar 2% diperoleh sebesar 70,95% (memenuhi), kadar 3% diperoleh sebesar 69,36% (memenuhi), kadar 4% diperoleh sebesar 68,43% (memenuhi), kadar 6% diperoleh sebesar 68,94% (memenuhi), kadar 8% diperoleh sebesar 68,15% (memenuhi), kadar 10% diperoleh sebesar 69,04% (memenuhi), dan kadar 12% diperoleh sebesar 65,27% (memenuhi), dimana syarat nilai rongga terisi aspal (*void filled with bitumen, VFB*) menurut Spesifikasi Teknis 2018 adalah minimal 65% . Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.10 perihal grafik hubungan VFB terhadap penambahan persentase kadar plastik LDPE.



Gambar 5.10 Hubungan Kadar Plastik LDPE dan Nilai Rongga Terisi Aspal (VFB)

Dari Gambar 5.10 dapat dilihat grafik rongga terisi aspal (*void filled with bitumen, VFB*) terhadap penambahan persentase kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50. 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 dengan metode pencampuran cara basah diperoleh hasil fluktuatif terhadap setiap penambahan kadar plastik jenis LDPE terhadap VFB. Berdasarkan hasil pengujian dengan penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8% dan 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 diperoleh nilai rongga terisi aspal (*void filled with bitumen, VFB*)

memenuhi syarat sesuai dengan syarat rongga terisi aspal (*void filled with bitumen, VFB*), dimana menurut Spesifikasi Teknis 2018 adalah minimal 65%.

Nilai FVB 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 aspal mudah teroksidasi dan menyebabkan lapis perkerasan aspal tidak tahan lama.

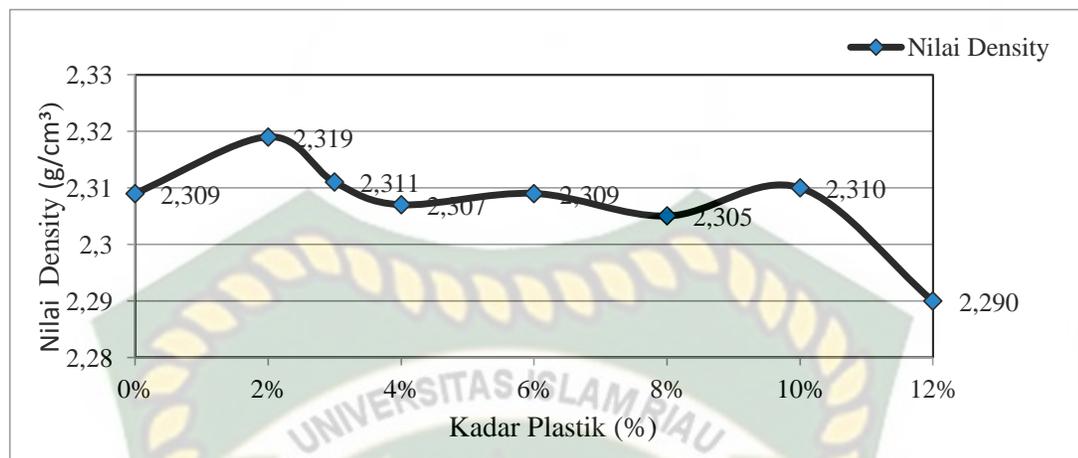
5.6.6 Rongga Dalam Campuran (%) Pada Kepadatan Membal (*Refusal*)

Dari hasil pengujian dengan menggunakan alat *Marshall Test* terhadap penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 diperoleh nilai rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal yang dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel.5.10. Nilai Rongga Dalam Campuran (%) Pada Kepadatan Membal (*Refusal*) Terhadap Penambahan Persentase Kadar Plastik LDPE

Persentase Kadar Penambahan Plastik (%)	Spesifikasi Teknis 2018 Untuk Nilai Density Aspal Keras PG 76	Hasil Perhitungan Density	Keterangan
0%	Minimal 2	2.309	Memenuhi
2%		2.319	Memenuhi
3%		2.311	Memenuhi
4%		2.307	Memenuhi
6%		2.309	Memenuhi
8%		2.305	Memenuhi
10%		2.310	Memenuhi
12%		2.290	Memenuhi

Dari Tabel 5.10 dapat dilihat hasil pengujian dengan menggunakan alat *Marshall Test* terhadap rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (*refusal*) akibat penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50. Dari hasil pengujian *Marshall Test* yang ditinjau terhadap nilai rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (*refusal*) dengan penambahan kadar plastik jenis LDPE menggunakan kadar 0% diperoleh sebesar 2,309 (memenuhi), kadar 2% diperoleh sebesar 2,319 (memenuhi), kadar 3% diperoleh sebesar 2,311 (memenuhi), kadar 4% diperoleh sebesar 2,307 (memenuhi), kadar 6% diperoleh sebesar 2,309 (memenuhi), kadar 8% diperoleh sebesar 2,305 (memenuhi), kadar 10% diperoleh sebesar 2,310 (memenuhi), dan kadar 12% diperoleh sebesar 2,290 (memenuhi), dimana syarat nilai rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (*refusal*) menurut Spesifikasi Teknis 2018 adalah minimal 2. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.11 perihal grafik hubungan nilai rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (*refusal*) terhadap penambahan persentase kadar plastik LDPE.



Gambar 5.11 Hubungan Kadar Plastik LDPE dan Nilai Density

Dari Gambar 5.11 dapat dilihat grafik rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (*refusal*) terhadap penambahan persentase kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50. Dari hasil pengujian dengan metode pencampuran cara basah diperoleh hasil fluktuatif dan cenderung menurun terhadap setiap penambahan kadar plastik jenis LDPE terhadap rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal. Berdasarkan hasil pengujian dengan penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8% dan 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 diperoleh rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal memenuhi syarat sesuai dengan syarat rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (*refusal*), dimana menurut Spesifikasi Teknis 2018 adalah minimal 2. Nilai *Density* yang cenderung naik dari kadar penambahan plastik LDPE 0% menunjukkan bahwa penambahan plastik *polyethylene* jenis LDPE menyebabkan

penambahan pada berat isi campuran sehingga nilai *Density* aspal penetrasi 40/50 PG76 menjadi berkurang.

5.6.7 Marshall Question (MQ)

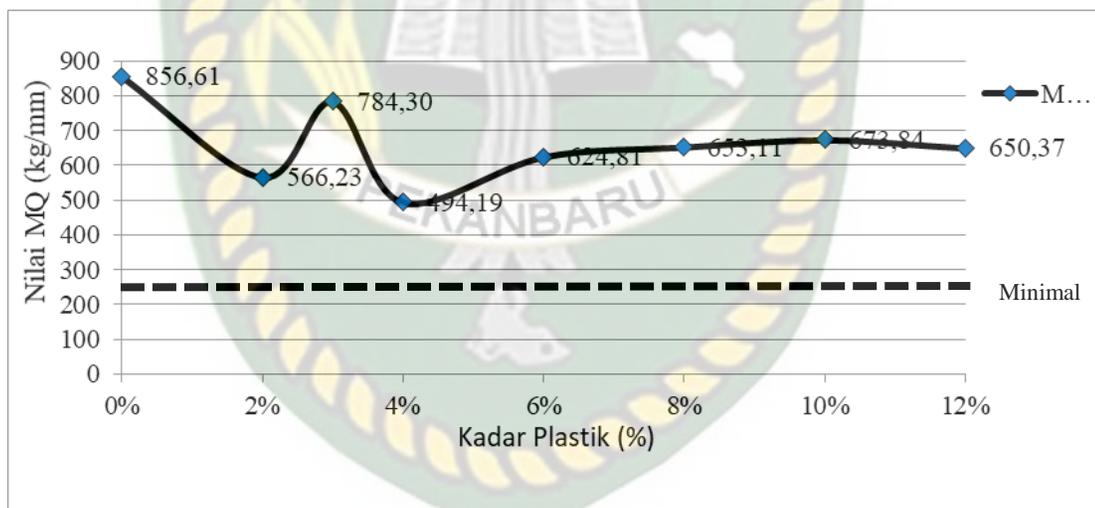
Merunut hasil pengujian dengan menggunakan alat *Marshall Test* terhadap penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 diperoleh nilai *Marshall Question* (MQ) yang dapat dilihat pada Tabel 5.11

Tabel.5.11. Nilai *Marshall Question* (MQ) Terhadap Penambahan Persentase Kadar Plastik LDPE.

Persentase Kadar Penambahan Plastik (%)	Spesifikasi Teknis 2018 Untuk Nilai Marshall Quotient (kg/mm)	Hasil Perhitungan Density (kg/mm)	Keterangan
0%	Minimal 250	856,61	Memenuhi
2%		566,23	Memenuhi
3%		784,30	Memenuhi
4%		494,19	Memenuhi
6%		624,81	Memenuhi
8%		653,11	Memenuhi
10%		673,84	Memenuhi
12%		650,37	Memenuhi

Dari Tabel 5.11 dapat dilihat hasil pengujian dengan menggunakan alat *Marshall Test* terhadap *Marshall Question* (MQ) akibat penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50. Dari hasil pengujian *Marshall Test* yang ditinjau

terhadap nilai *Marshall Question* (MQ) dengan penambahan kadar plastik jenis LDPE menggunakan kadar 0% diperoleh sebesar 856,61 kg/mm (memenuhi), kadar 2% diperoleh sebesar 566,23 kg/mm (memenuhi), kadar 3% diperoleh sebesar 784,30 kg/mm (memenuhi), kadar 4% diperoleh sebesar 494,19 kg/mm (memenuhi), kadar 6% diperoleh sebesar 624,81 kg/mm (memenuhi), kadar 8% diperoleh sebesar 653,11 kg/mm (memenuhi), kadar 10% diperoleh sebesar 673,84 kg/mm (memenuhi), dan kadar 12% diperoleh sebesar 650,37 kg/mm (memenuhi), dimana syarat nilai *Marshall Question* (MQ) menurut Spesifikasi Teknis 2018 adalah minimal 250 kg/mm. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.12 perihal grafik hubungan nilai *Marshall Question* (MQ) terhadap penambahan persentase kadar plastik LDPE.



Gambar 5.12 Hubungan *Marshall Kuosien* (MQ) dan Kadar Plastik LDPE

Dari Gambar 5.12 dapat dilihat grafik *Marshall Question* (MQ) terhadap penambahan persentase kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50. Dari hasil pengujian dengan metode pencampuran cara basah diperoleh hasil fluktuatif terhadap

setiap penambahan kadar plastik jenis LDPE terhadap *Marshall Question* (MQ). Berdasarkan hasil pengujian dengan penambahan kadar plastik jenis LDPE dengan menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8% dan 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 diperoleh *Marshall Question* (MQ) memenuhi syarat sesuai dengan syarat *Marshall Question* (MQ), dimana menurut Spesifikasi Teknis 2018 adalah minimal 250 kg/mm. Sehingga dari hasil pengujian bahwa penambahan plastik jenis LDPE pada aspal penetrasi 40/50 PG76 dapat menurunkan kekakuan dari aspal keras penetrasi 40/50 PG76. Aspal yang dihasilkan akibat penambahan plastik jenis LDPE ini nilai *Marshall Question* (MQ) dapat mengalami penurunan dibandingkan tanpa penambahan persentase kadar plastik jenis LDPE. Nilai MQ yang cenderung menurun ini tetapi masih diatas persyaratan minimal Spesifikasi Teknis Bina Marga 2018, namun akan membuat campuran semakin lentur dan plastis sehingga mudah mengalami perubahan bentuk saat menerima beban lalu lintas yang tinggi dibandingkan tanpa penambahan persentase kadar plastik jenis LDPE.

5.7 Hasil Analisis Gabungan Nilai Karakteristik Marshall

Dari hasil pengujian dengan menggunakan alat *Marshall Test* terhadap penambahan kadar plastik jenis LDPE menggunakan kadar 0%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50 diperoleh analisis gabungan nilai karakteristik *Marshall* yang dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel.5.12. Nilai Analisis Gabungan Nilai Karakteristik Marshall Terhadap Penambahan Persentase Kadar Plastik LDPE.

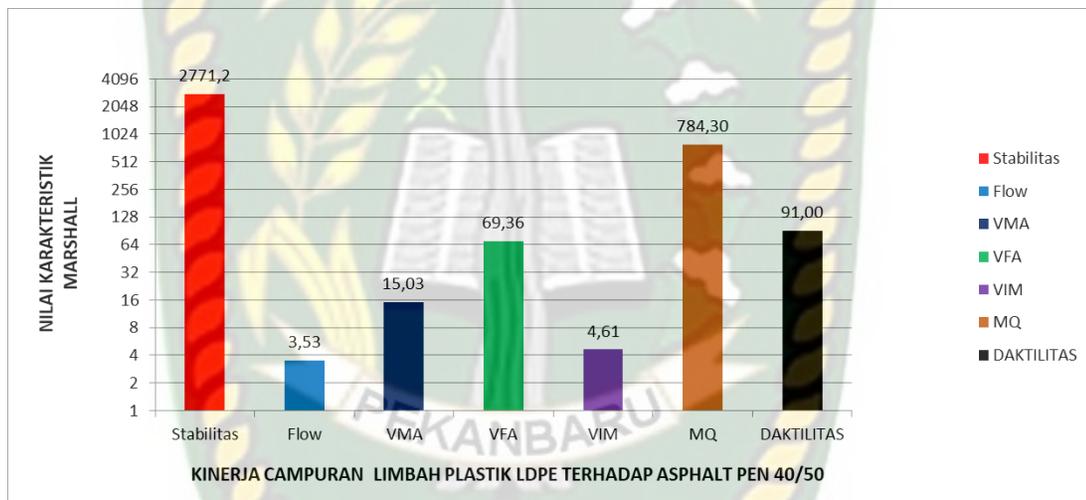
Kadar Plastik (%)	Hasil Uji Marshall Campuran LDPE dan Aspal Penetrasi 40/50 PG76							
	160 (° C)							
	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Stabilitas (Kg)	Pelelehan (mm)	MQ (Kg/mm)	Density	Keterangan
0%	4,72	15,13	68,81	2598,40	3,03	856,61	2,309	Memenuhi
2%	4,28	14,75	70,95	2227,20	3,93	566,23	2,319	Tidak Memenuhi
3%	4,61	15,03	69,36	2771,20	3,53	784,3	2,311	Memenuhi
4%	4,80	15,21	68,43	1894,40	3,83	494,19	2,307	Memenuhi
6%	4,69	15,11	68,94	2457,60	3,93	624,81	2,309	Memenuhi
8%	4,86	15,26	68,15	2656,00	4,07	653,11	2,305	Tidak Memenuhi
10%	4,67	15,09	69,04	2336,00	3,47	673,84	2,310	Memenuhi
12%	5,50	15,83	65,27	2406,40	3,70	650,37	2,290	Tidak Memenuhi
SPESIFIKASI TEKNIS BINA MARGA 2018								
Syarat	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Stabilitas (kg)	Pelelehan (mm)	MQ (kg/mm)	Density	
Min.	3	15	65	1000	2	250	2	-
Mak.	5	-	-	-	4	-	-	-

Keterangan:

Tidak memenuhi

Dari Tabel 5.12 dapat dilihat hasil pengujian dengan menggunakan alat *Marshall Test* terhadap hasil analisis gabungan nilai karakteristik *Marshall* akibat penambahan kadar plastik jenis LDPE kantong plastik dengan aspal keras PG 76 per 40/50, menunjukkan bahwa dengan penambahan kadar plastik jenis LDPE 3%, 4%,

6%, 10% memenuhi syarat analisis gabungan nilai karakteristik *Marshall*. Sedangkan penambahan kadar plastik jenis LDPE 2%, 8%, 12% tidak memenuhi syarat analisis gabungan nilai karakteristik *Marshall* sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Penambahan kadar plastik jenis LDPE 3%, 4%, 6%, 10% yang paling ideal adalah pada penambahan persentase kadar plastik jenis LDPE 3%. Untuk jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.13 perihal grafik hubungan nilai analisis gabungan nilai karakteristik *Marshall* terhadap penambahan persentase kadar plastik LDPE ideal.



Gambar 5.13 Nilai Karakteristik Marshall terhadap Kadar Plastik LDPE 3%

Dari Gambar 5.13 dapat dilihat dari grafik nilai karakteristik *Marshall* terhadap penambahan persentase kadar plastik jenis LDPE sebanyak 3% dengan menggunakan aspal keras PG 76 pen 40/50 yang diperoleh dari hasil pengujian dengan metode pencampuran cara basah merupakan hasil komposisi yang ideal dalam pencampuran aspal limbah plastik LDPE. Pada penambahan kadar plastik jenis LDPE menggunakan kadar 3% didapat nilai VIM 4,61% (min. 3%, mak. 5%), nilai VMA 15,03% (min. 15%), nilai VFB 69,36% (min. 65%), nilai Stabilitas 2.771,2 Kg (min.

1000 Kg), nilai Pelelehan (*Flow*) 3,53 mm (min. 2%, mak. 4%), nilai MQ 784,30 kg/mm (250 kg/mm) dan nilai Density 2,311 (min. 2).

Menurut Spesifikasi Khusus Interim Campuran Beraspal Panas Tahun 2017, penggunaan limbah plastik 4% sampai dengan 6% terhadap berat aspal dan penggunaan plastik lebih dari 6% harus mendapat persetujuan dari pengawas pekerjaan.



Gambar 5.14 Benda uji sebelum dilakukan *Marshall test*



Gambar 5.15 Benda uji sesudah dilakukan *Marshall test*

Pada Gambar 5.14 menunjukkan sampel yang dibuat masing-masing dengan penambahan kadar plastik sebelum di lakukan uji test Marshall. Sedangkan pada gambar 5.15 menunjukkan adanya perubahan bentuk dan retak pada benda uji setelah dilakukan pengujian dengan alat tes Marshall. Perubahan bentuk dan retak yang ditunjukkan akibat adanya kombinasi tegangan tarik dan tekan alat. Lebar retak yang terjadi pada kadar plastik lebih besar yaitu kadar 6 % dan 10%. Hal ini diakibatkan semakin banyak tambahan campuran plastik campuran benda uji semakin getas dan mudah retak apabila di berikan beban atau tekanan.

5.8 Perbandingan Dengan Percobaan Terdahulu

Menurut Razak dan Erdiansa, (2016) melakukan penelitian mengenai Karakteristik Campuran AC-WC dengan Penambahan Limbah Plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE). Dalam penelitian ini menggunakan 5 variasi kadar plastik LDPE yaitu 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% dengan menggunakan aspal penetrasi 60/70 untuk rancangan campuran AC-WC. Dari hasil penelitian diperoleh nilai stabilitas, flow, dan MQ mengalami peningkatan dan penurunan yang tidak stabil, sedangkan nilai VFB dan kepadatan meningkat, dan nilai VIM dan VMA menurun.

Penelitian yang dilakukan oleh Rodhilla (2019) mengenai Analisis Perbandingan Karakteristik Marshall Terhadap Penambahan Plastik Jenis HDPE Pada Campuran Aspal Dengan Variasi Ukuran Pemotongan Plastik dengan menggunakan aspal penetrasi 60/70 untuk campuran AC-WC diperoleh hasil jenis plastik HDPE dengan ukuran 0,4cm x 0,4 cm dan ukuran 0,4 cm x 5-10 cm terhadap karakteristik Nilai Marshall cukup bervariasi dan fluktuatif dibandingkan dengan dengan

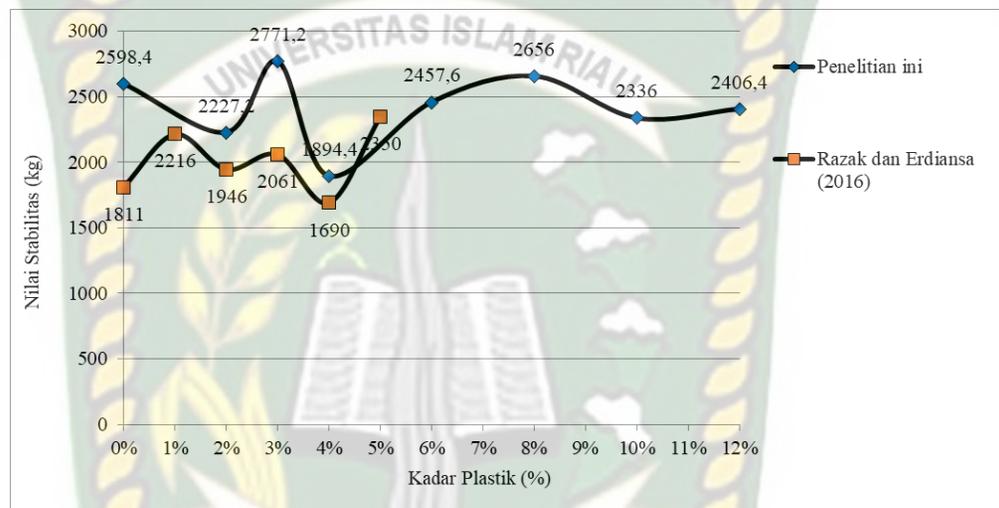
penggunaan plastik dengan ukuran pemotongan 0,4 cm x 0,4 cm yang disebabkan karena penyebaran plastik yang cenderung tidak merata di seluruh campuran aspal.

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan oleh Suroso (2008) mengenai Pengaruh Penambahan Plastik LDPE (*Low Density Poly Ethilen*) dengan cara basah dan cara kering Terhadap Kinerja Campuran Beraspal, dimana pengaruh penambahan plastik mutu rendah jenis LDPE dalam aspal penetrasi 60 dengan variasi kadar plastik LDPE 3%, 3,5% dan 4% terhadap berat aspal dapat menurunkan nilai Penetrasi sehingga aspal tidak peka terhadap perubahan temperatur.

Sehingga dengan perbandingan percobaan terdahulu, dari hasil pengujian diperoleh hasil yang memenuhi persyaratan penambahan kadar plastik jenis LDPE menggunakan kadar 3%, 4%, 6% dan 10% dengan aspal keras PG 76 pen 40/50, namun dilihat dari Nilai Stabilitas, penambahan kadar plastik ideal adalah 3% dengan nilai stabilitas tertinggi 2771,2 kg . Dimana dari hasil penelitian diperoleh :

1. Nilai Penetrasi diperoleh sebesar 40,44 mm (tidak memenuhi) dimana syarat Nilai Penetrasi Untuk Aspal Keras PG 76 sesuai Spesifikasi Teknis 2018 adalah ≥ 50 mm.
2. Nilai Daktilitas diperoleh sebesar 91 cm (memenuhi) dimana syarat Nilai Daktilitas Untuk Aspal Keras PG 76 sesuai Spesifikasi Teknis 2018 adalah ≥ 25 cm.
3. Nilai Stabilitas pada penelitian ini tertinggi didapat 2.771,2 kg (memenuhi) pada kadar plastik 3%, kemudian secara fluktuatif turun pada kadar 4% dengan nilai 1.894,4 kg selanjutnya mengalami peningkatan kadar 6% dengan

nilai 2.457,6 kg dan kembali mengalami penurunan pada kadar plastik 10% dengan nilai 2.336 kg. Dimana syarat Nilai Stabilitas untuk aspal keras PG 76 sesuai Spesifikasi Teknis 2018 minimal 1.000 kg. Hubungan Nilai Stabilitas dengan Kadar Plastik Terhadap Penelitian Razak dan Erdiansa (2016) dapat dilihat pada Gambar 5.16.

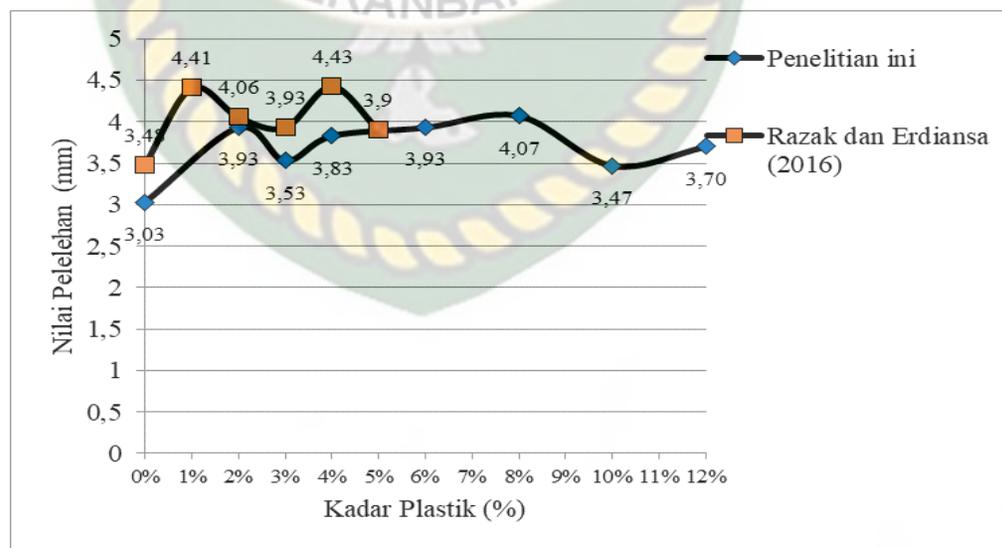


Gambar 5.16 Hubungan Nilai Stabilitas dengan Kadar Plastik Terhadap Penelitian Razak dan Erdiansa (2016)

Dari Gambar 5.16 menunjukkan hasil pengujian yang dilakukan bahwa penambahan kadar plastik 3% jenis LDPE menggunakan aspal penetrasi 40/50 type PG76 kadar aspal 5,5% dan agregat yang bersumber dari Kampar untuk laston AC-WC diperoleh nilai stabilitas 2.771,2 kg. Sedangkan Nilai Stabilitas pada penelitian Razak dan Erdiansa (2016) kadar plastik 3% didapat 2.061 kg kemudian mengalami penurunan pada kadar 4% sebesar 1.690 kg dan mengalami kenaikan dan tertinggi pada kadar plastik 5% didapat 2350 kg sehingga dapat dikatakan bahwa penambahan plastik mempengaruhi nilai

stabilitas. Dari hasil pengujian ini menunjukkan bahwa dengan penambahan kadar plastik jenis LDPE menggunakan aspal pen. 40/50 type PG dan material agregat dari Kampar, Nilai Stabilitas lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian Razak dan Erdiansa (2016) sehingga lebih tahan terhadap deformasi akibat beban lalu lintas.

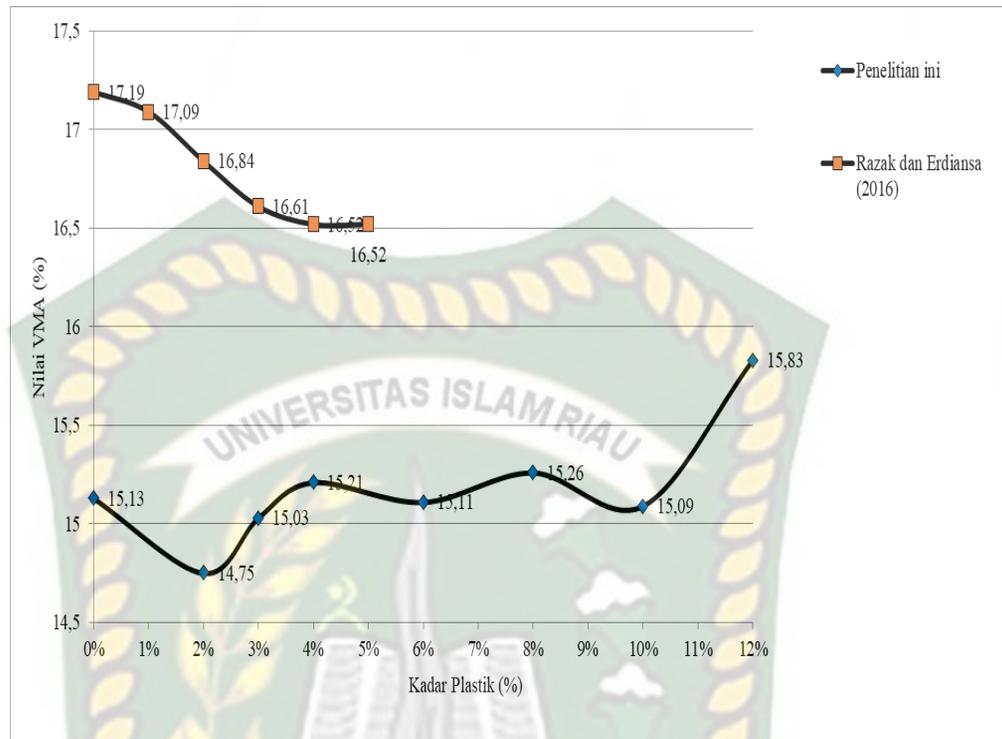
4. Nilai Pelelehan (*Flow*) pada penelitian ini penambahan kadar plastik 3% didapat 3,53 mm (memenuhi), kemudian mengalami peningkatan pada kadar plastik 4% sebesar 3,83 mm, dan 6% didapat 3,93 mm, kemudian mengalami penurunan pada kadar plastik 10% sebesar 3,47 mm, dimana secara keseluruhan memenuhi syarat Nilai Pelelehan (*Flow*) untuk Aspal Keras PG 76 sesuai Spesifikasi Teknis 2018 adalah minimal 2 mm dan maksimal 4 mm. Hubungan Nilai Pelelehan (*Flow*) dengan Kadar Plastik Terhadap Penelitian Razak dan Erdiansa (2016) dapat dilihat pada Gambar 5.17.



Gambar 5.17 Hubungan Nilai Pelelehan dengan Kadar Plastik Terhadap Penelitian Razak dan Erdiansa (2016)

Dari gambar 5.17 menunjukkan hasil nilai pelelehan pada penambahan kadar plastik 3% didapat 3,53 mm (memenuhi), sedangkan pada penelitian terdahulu Razak dan Erdiansa (2016) nilai pelelehan kadar plastik 3% didapat 3,93mm, dan kadar plastik 4% mengalami peningkatan nilai pelelehan 4,43 mm, kemudian penurunan pada kadar 5% dengan nilai 3,93mm. Dari hasil perbandingan nilai flow didapat campuran yang memiliki angka pelelehan rendah dengan stabilitas tinggi cenderung menjadi kaku dan getas. Sedangkan campuran yang memiliki angka pelelehan tinggi dan stabilitas rendah cenderung plastis dan mudah berubah bentuk apabila mendapat beban lalu lintas.

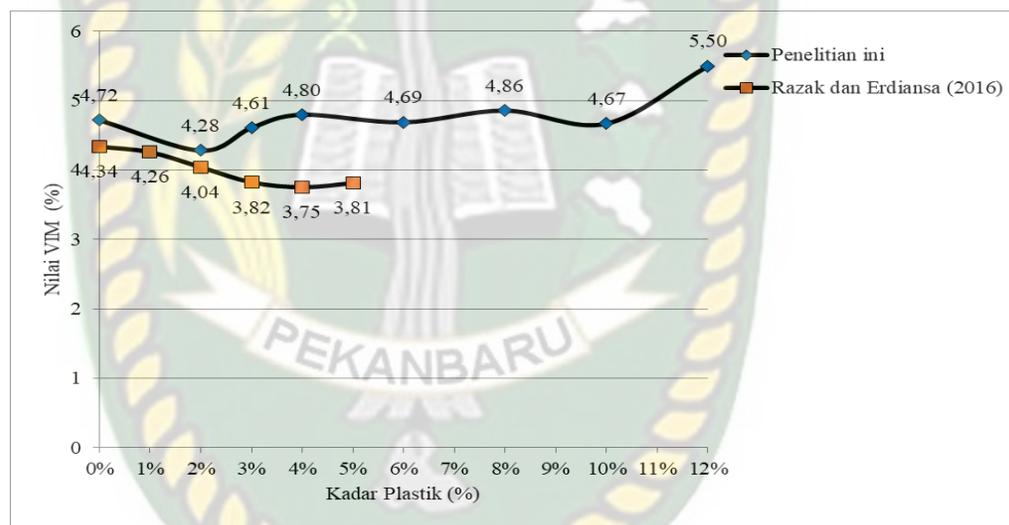
5. Nilai rongga dalam agregat (*Void in Mineral Agregate*) penambahan kadar plastik LDPE 3% didapat 15,03%, kemudian mengalami peningkatan pada kadar 4% dengan nilai 15,21% selanjutnya mengalami penurunan masing-masing pada kadar 6% dan 10% dengan nilai 15,11% dan 15,09%, secara keseluruhan memenuhi syarat Nilai rongga dalam agregat (*Void in Mineral Agregate*) Untuk Aspal Keras PG 76 sesuai Spesifikasi Teknis 2018 adalah minimal 15%. Hubungan Nilai VMA dengan Kadar Plastik Terhadap Penelitian Razak dan Erdiansa (2016) dapat dilihat pada Gambar 5.18



Gambar 5.18 Hubungan Nilai VMA dengan Kadar Plastik Terhadap Percobaan Razak dan Erdiansa (2016)

Dari Gambar 5.18 didapat nilai VMA tertinggi didapat 15,21% kadar plastik 4% dan terendah 15,03% kadar plastik 3%. Berbeda dengan Penelitian Razak dan Erdiansa (2016) dimana kadar plastik 3% nilai VMA didapat 16,61% kemudian mengalami penurunan pada kadar 4% dan 5% dengan nilai yang sama 16,52% dan memenuhi syarat spesifikasi teknis 2018. Dari hasil perbandingan ini dapat dikatakan bahwa penambahan plastik pada campuran aspal mempengaruhi nilai VMA. Agregat bergradasi rapat memberikan rongga antara butiran agregat (VMA) yang kecil disebabkan lapisan plastik telah menyelimuti agregat dan menutup sebagian besar rongga antara butiran.

6. Nilai rongga dalam campuran (*Void In The Mix*) penambahan kadar plastik LDPE 3% didapat 4,61%, kemudian pada kadar plastik 4% meningkat menjadi 4,8% selanjutnya mengalami penurunan pada kadar 6% menjadi 4,69% dan menurun kembali pada kadar 10% menjadi 4,67% secara keseluruhan memenuhi syarat nilai rongga dalam campuran (*Void In The Mix*) untuk Aspal Keras PG 76 sesuai Spesifikasi Teknis 2018 adalah minimal 3% dan maksimal 5%. Hubungan Nilai VIM dengan Kadar Plastik Terhadap Pengujian Razak dan Erdiansa (2016) dapat dilihat pada Gambar 5.19

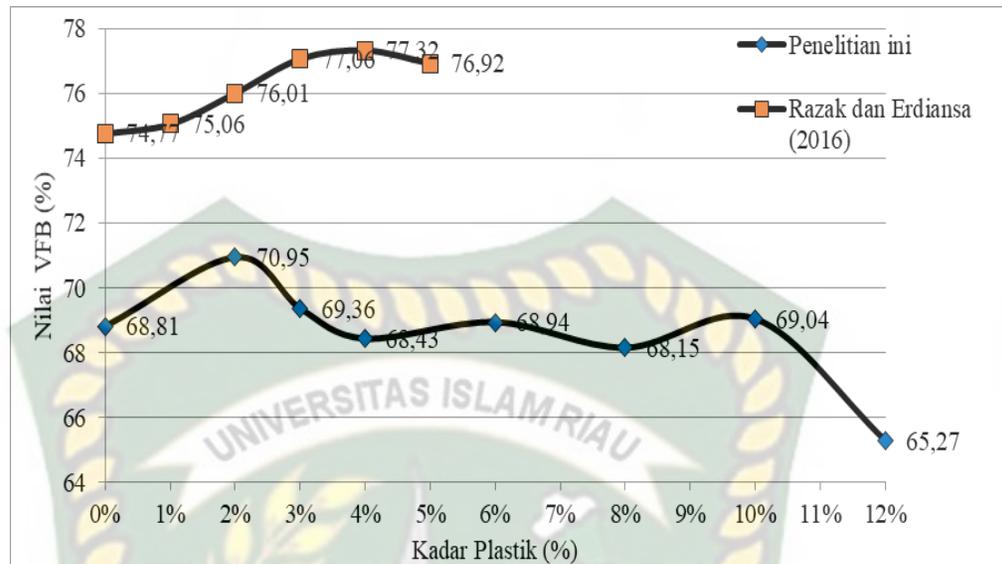


Gambar 5.19 Hubungan Nilai VIM dengan Kadar Plastik Terhadap Pengujian Razak dan Erdiansa (2016)

Pada Gambar 5.19 di atas menunjukkan Nilai VIM pengujian Razak dan Erdiansa (2016) bahwa pada kadar plastik 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% mengalami penurunan masing-masing dari 4,34%, 4,26%, 4,04%, 3,82% dan 3,75% kemudian mengalami peningkatan pada kadar plastik 5% dengan nilai VIM 3,81%. Hasil penelitian ini menunjukkan Nilai VIM yang fluktuatif tetapi

masih memenuhi persyaratan spesifikasi teknis 2018. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan. VIM yang terlalu besar akan menyebabkan beton aspal padat berkurang kededapan airnya, sehingga berakibat pada meningkatnya proses oksidasi aspal yang akan mempercepat penuaan aspal dan akan menurunkan sifat durabilitas beton aspal. Berbeda dengan pengujian Razak dan Erdiansa (2016). Nilai VIM terlalu kecil akan mengakibatkan terjadinya *bleeding* saat temperatur meningkat.

7. Nilai rongga terisi aspal (*void filled with bitumen, VFB*) kadar plastik LDPE 3% diperoleh 69,36% mengalami penurunan pada kadar plastik 4% dan 6% masing-masing 68,43% dan 68,94% kemudian mengalami peningkatan pada kadar 10% dengan nilai VFB 69,04%. dimana memenuhi syarat nilai rongga terisi aspal (*void filled with bitumen, VFB*) Untuk Aspal Keras PG 76 sesuai Spesifikasi Teknis 2018 adalah minimal 65%. Hubungan Nilai VFB dengan Kadar Plastik Terhadap Penelitian Razak dan Erdiansa (2016) dapat dilihat pada Gambar 5.20

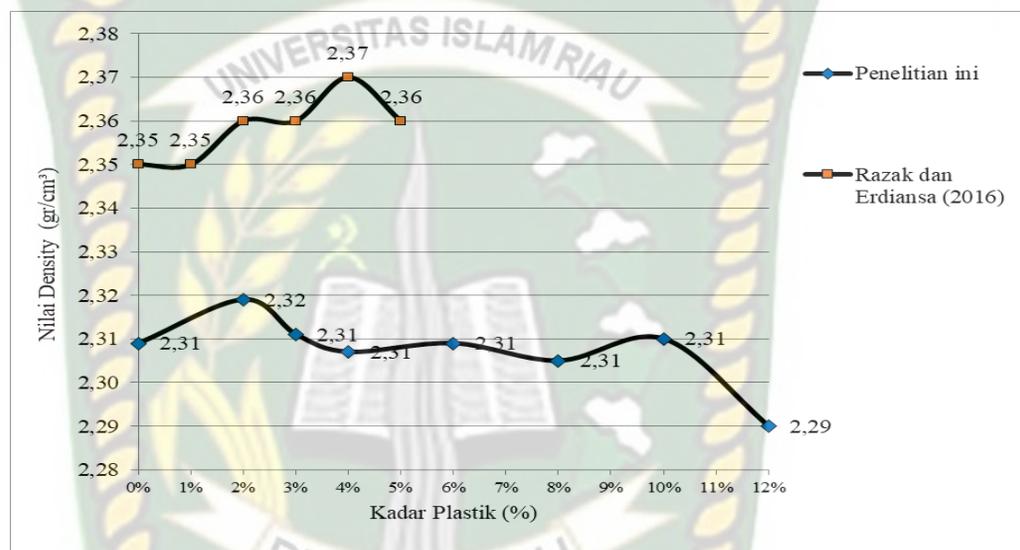


Gambar 5.20 Hubungan Nilai VFB dengan Kadar Plastik Terhadap Pengujian Razak dan Erdiansa (2016)

Dari gambar 5.20 menunjukkan nilai VFB pada penelitian ini yang cenderung fluktuatif tetapi tidak signifikan. Berbeda dengan penelitian Razak dan Erdiansa (2016), penambahan kadar plastik LDPE dari 0%, 1%, 2%, 3% dan 4% nilai VFB mengalami peningkatan dengan nilai masing-masing 74,77%, 75,06%, 76,01%, 77,06% dan 77,32% dan kembali mengalami penurunan pada penambahan kadar plastik LDPE 5% dengan nilai VFB 76,92%. Penambahan persentase kadar plastik yang berada dalam aspal mengakibatkan rongga yang berada dalam VMA yang terisi akan bertambah, sehingga mengakibatkan rongga terisi aspal yang bercampur plastik bertambah.

8. Nilai rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (*refusal*) cenderung tetap pada kadar plastik LDPE 3%,4%,6% dan 10% didapat masing-masing 2,31gr/cm. Dimana memenuhi syarat nilai rongga dalam

campuran (%) pada kepadatan membal (*refusal*) untuk Aspal Keras PG 76 sesuai Spesifikasi Teknis 2018 adalah minimal 2 (dua). Hubungan Nilai rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (*refusal*) dengan Kadar Plastik Terhadap Percobaan Razak dan Erdiansa (2016) dapat dilihat pada Gambar 5.21

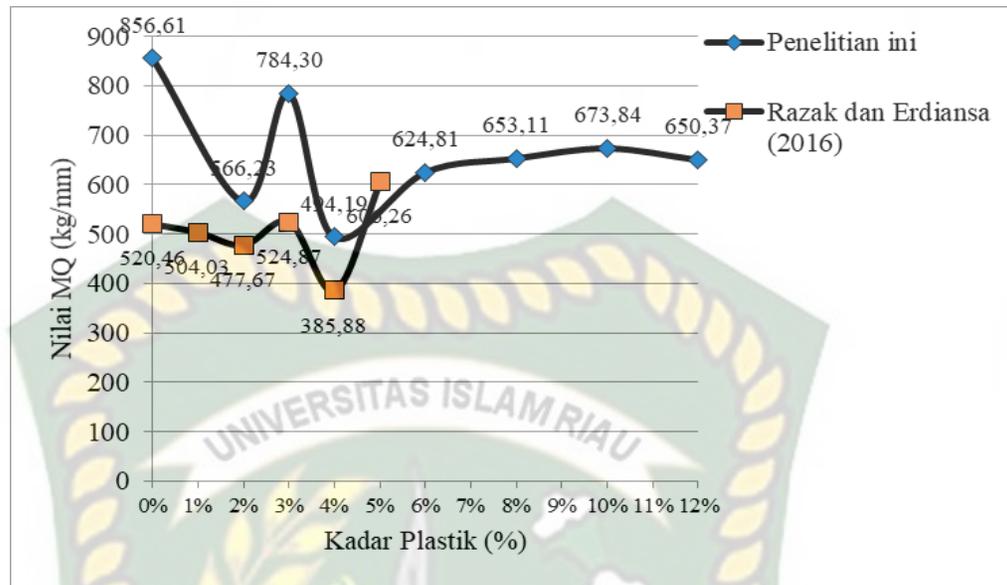


Gambar 5.21 Hubungan Nilai Density dengan Kadar Plastik Terhadap Percobaan Razak dan Erdiansa (2016)

Pada gambar 5.21 diatas menunjukkan pada pengujian Razak dan Erdiansa (2016) Nilai rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (*refusal*) cenderung mengalami peningkatan dari kadar 0%,1%,2%,3% dan 4% didapat masing-masing 2,35 gr/cm³, 2,35 gr/cm³, 2,36 gr/cm³, 2,36 gr/cm³, 2,37 gr/cm³ kemudian menurun di kadar plastik 5% dengan nilai *density* 2,36 gr/cm³. Dari hasil perbandingan ini dapat dikatakan bahwa dengan menggunakan penambahan kadar plastik LDPE pada campuran laston AC-WC Pen 40/50 PG 76 dan material agregat Kampar didapat nilai kepadatan

membal lebih kecil dari pengujian Razak dan Erdiansa (2016). Hal ini disebabkan oleh perbedaan kadar aspal optimum pengujian Razak dan Erdiansa (2016) adalah 6,31%, sedangkan penelitian ini menggunakan kadar aspal optimum 5,5%. Puncak kemampuan bersamaan dengan kadar aspal optimum dan stabilitas puncak. Apabila kadar aspal naik, density ikut naik sampai mencapai puncaknya lalu turun. Kemampuan yang tinggi akan menghasilkan kemampuan untuk menahan beban yang tinggi serta kekedapan terhadap air dan udara yang tinggi.

9. Nilai *Marshall Question* (MQ) penelitian ini cenderung fluktuatif, dimana pada kadar plastik 3% didapat 784,30 kg/mm dan mengalami penurunan pada kadar 4% dengan nilai 494,19 kg/mm kemudian kembali meningkat pada kadar 6% dan 10% masing-masing adalah 624,81 kg/mm dan 673,84 kg/mm, dimana memenuhi syarat nilai *Marshall Question* (MQ) untuk Aspal Keras PG 76 sesuai Spesifikasi Teknis 2018 adalah minimal 250 kg/mm. Hubungan Nilai MQ dengan Kadar Plastik Terhadap Pengujian Razak dan Erdiansa (2016) dapat dilihat pada Gambar 5.22



Gambar 5.22 Hubungan Nilai MQ dengan Kadar Plastik Terhadap Pengujian Razak dan Erdiansa (2016)

Pada Gambar 5.22 menunjukkan bahwa Nilai MQ pada pengujian Razak dan Erdiansa (2016) Penambahan kadar plastik LDPE dari 0%, 1%, 2% mengalami penurunan dengan nilai MQ masing-masing 520,46, 504,03, 477,67 dan meningkat pada kadar 3% dengan nilai 524,87 kemudian kembali menurun pada kadar 4% dengan nilai 385,88 serta mengalami peningkatan nilai MQ didapat 600,26 pada kadar plastik 5%. Perbandingan ini menunjukkan bahwa penambahan kadar plastik memberikan nilai MQ yang fluktuatif tetapi masih memenuhi standar spesifikasi teknis 2018. Semakin besar nilai *Marshall Quotient* berarti campuran semakin kaku, sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur. Hal ini disebabkan pengaruh tingginya nilai stabilitas dan rendahnya nilai flow pada penambahan kadar plastik 3% pada aspal laston AC-WC Penetrasi 40/50 PG.76.

Dari hasil penelitian secara keseluruhan pemanfaatan limbah plastik LDPE dengan penambahan kadar 3% sebagai bahan tambah dalam campuran lapisan AC-WC yang menggunakan aspal keras PG 76 pen 40/50 dan material dari Kampar guna peningkatan nilai stabilitas dari aspal konvensional, dapat mengurangi limbah plastik jenis LDPE terhadap masalah lingkungan. Pemilihan kadar plastik 3% didasarkan pada hasil pengujian alat Marshall didapat karakteristik Marshall, nilai stabilitas penambahan kadar plastik 3% adalah 2.771,2 kg lebih meningkat dibanding pada kadar penambahan kadar plastik 4% adalah 1894,4 kg dan 6% adalah 2457,6 kg serta 10% adalah 2.336,0 kg. Nilai stabilitas menentukan kekuatan laston AC-WC tahan terhadap deformasi dan beban lalu lintas.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang dilakukan terhadap penambahan plastik jenis LDPE dengan kadar 0 %, 2 %, 3 %, 4 %, 6 %, 8 %, 10 % dan 12 % terhadap campuran aspal Laston AC-WC Penetrasi 40/50 type PG76 material agregat Kampar dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Kadar plastik LDPE yang paling ideal dan memenuhi ketentuan spesifikasi teknis 2018 setelah dilakukan pengujian Karakteristik Marshall pencampuran dengan aspal penetrasi 40/50 type PG76 adalah pada kadar 3%, 4% dan 6% dan 10% penambahan plastik LDPE. Namun dengan melihat nilai stabilitas lebih direkomendasikan pemakaian kadar plastik 3 % dengan nilai stabilitas 2.771,2 kg.
2. Penggunaan plastik jenis LDPE kantong plastik belanja sebagai bahan tambah didalam campuran Laston AC-WC penetrasi 40/50 type PG76 dapat meningkatkan stabilitas, kepadatan membal (*density refusal*), dan Marshall Quotient (MQ) dan Rongga Terisi Aspal (VFB). Sementara nilai pelelehan (flow), rongga dalam agregat (VMA), rongga dalam campuran (VIM), terjadi penurunan akan tetapi cenderung fluktuatif dari hasil pengujian dan ada yang tidak memenuhi ketentuan berdasarkan spesifikasi teknis 2018.

3. Pemanfaatan plastik LDPE jenis kantong kresek belanja sebagai campuran aspal beton AC-WC 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 jenis LDPE kantong kresek belanja dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah didalam pelaksanaan pekerjaan Laston AC-WC.

6.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian dalam pelaksanaan penghamparan dan kemudahan dalam melaksanakannya.
2. Perlu dilakukan penelitian dan perhitungan biaya dalam pelaksanaan penambahan plastik jenis LDPE.
3. Perlunya dilakukan penelitian lebih lanjut tentang homogenitas campuran sehingga dapat diketahui kerataan campuran aspal dan plastik LDPE dalam setiap sample pengujian.
4. Dalam penelitian menggunakan metode pencampuran basah lebih mudah diterapkan, akan tetapi perlu desain pada AMP sebagai alat tambah di ketel dan atau pugmil sebagai alat mekanis untuk mengaduk dan mencampur plastik jenis LDPE dengan aspal keras pen 40/50 PG.76 untuk memperoleh campuran yang homogen.
5. Kajian pemilihan kadar optimum plastik terkait aspek ekonomi dan pemanfaatan limbah plastik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bansal, S., Misra, A.K., Bajpai, P. 2017, *Evaluation of Modified Bituminous Concrete Mix Developed Using Rubber and Plastik Waste Materials*. International Journal of Sustainable Built Environment 6, 442–448.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1987, *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) untuk Jalan Raya*, SKBI-2.4.26.1987
- Jusnita., dan Syafri,R., 2017, *Pemanfaatan Limbah Sampah Plastik Sebagai Energi Alternatif Pada Sepeda Motor Yang Ramah Lingkungan.*, Prosiding LP2M-UMRI Vol 2, Sep 2017.
- Kementerian Pekerjaan Umum 2002, *Pedoman Perencanaan Perkerasan Lentur*, PtT-01-2002-B
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga, Direktorat Jalan Bebas Hambatan Perkotaan dan Fasilitas Jalan Daerah 2012, *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor : 02/PRT/M/2012, Pedoman Penyusunan Rencana Umum Jaringan Jalan*. Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017, *Spesifikasi Khusus Interim Campuran Beraspal Panas menggunakan Limbah Plastik*, Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum Balitbang dan BBJN VIII Surabaya,(2017),”*Penerapan Skala Penuh Tegnologi aspal Limbah Plastik*”, Balitbang PU.
- Kementerian Pekerjaan Umum, 2017, ”(<https://pu.go.id/berita/kementerian-pupr;2017>)”, Balitbang PU.
- Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018, ”*Spesifikasi Umum 2018*”, Pusjatan-Balitbang PU.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2019, Direktorat Jenderal Pengelolaan Sampah, Limbah dan B3, KLHK.
- Khan, I.M., Kabir, S., Alhusain, M. A., Almansoor, F. F., 2016, *Asphalt Design using Recycled Plastik and Crumb-rubber Waste for Sustainable Pavement Construction*. Procedia Engineering 145 (2016), 1557 – 1564.

- Lusyana., 2007. “Kajian Deformasi dan Stabilitas Dinamis Campuran Laston Lapis Aus (HRS-WC) Yang Mengandung Asbuton Lawele”, Jurnal Ilmiah Poly Rekayasa. Politeknik Negeri Padang. Vol 2(2)
- 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.
- Nikolaides, A., 2015, Highway Engineering “Pavement, Materials and Control Of Quality”. Book 1st Edition ISBN 9781138893764.
- Nkaga, U.j., Joseph, J.A., Adams, F.V., Uche,O.U., 2017. *Characterization of bitumen plastik blends for Flexible Pavement Aplication*. Procedia Manufacturing 7 (2017), 490 – 496.
- Puslitbang Prasarana Transportasi. 2002. *Desiminasi Spesifikasi-Baru Campuran Beraspal Panas dengan Alat PRD*. Jakarta: Departemen Pemukiman dan Pengembangan Wilayah.
- Purnamasari, E.P., dan Suryaman., Fransiskus.,2010, *Pengaruh Penggunaan Limbah Botol Plastik Sebagai Bahan Tambah Terhadap Karakteristik Lapis Aspal Beton (Laston)*. Konferensi Nasional Teknik Sipil 4, Sanur-Bali,2-3 Juni 2010,
- Pani, 2017, *Pembuatan Biofuel Dengan Proses Pirolisis Berbahan Baku Plastik Low Density Polyethylene (LDPE) Pada Suhu 250^oC dan 300^oC*. Jurnal ENGINE Vol.1 No.1, Mei 2017, pp 32-38 e-ISSN: 2579-7433.
- Rahmawati, A., dan Rizana, R., 2013. *Pengaruh Penggunaan Limbah Plastik Polipropilena Sebagai Pengganti Agregat Pada Campuran Laston Terhadap Karakteristik Marshall*. KonferensiNasional Teknik Sipil 7,Universitas Sebelas Maret (UNS). Surakarta. 24-26 Oktober 2013.
- Razak, B. A. dan Erdiansa, A., 2016, *Karakteristik Campuran AC-WC dengan Penambahan Limbah Plastik Low Density Polyethylene (LDPE)*. Journal INTEK, April 2016, Volume 3 (1): 8-14.
- Rhodilla, I., 2019, *Analisis Perbandingan Karakteristik Marshall Terhadap Penambahan Plastik Jenis Hdpe Pada Campuran Aspal Dengan Variasi Ukuran Pemotongan Plastik*, Tesis. Universitas Islam Riau, Pekanbaru.
- Shell Cariphalte PG 76, 2020. PT. Buntara Megah Inti. Tangerang: Indonesia.

- SNI, 1996. *Metode Pengujian Gumpalan Lempung Dan Butir-Butir Mudah Pecah Dalam Agregat*. Jakarta: Balitbang. Dinas Pekerjaan Umum.
- SNI, 1997. *Metode Pengujian Agregat Halus Atau Pasir Yang Mengandung Bahan Plastik Dengan Cara Setara Pasir*. Jakarta: Balitbang. Dinas Pekerjaan Umum.
- SNI, 2000. *Metode Pengujian Viskositas Aspal Minyak Dengan Alat Brookfield Termosel*. Jakarta: Balitbang. Dinas Pekerjaan Umum.
- SNI, 2002. *Metode Pengujian Kadar Rongga Agregat Halus Yang Tidak Dipadatkan*. Jakarta: Balitbang. Dinas Pekerjaan Umum.
- SNI, 2003. *Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas Dengan Alat Marshall*, Jakarta: Balitbang. Kementerian Pekerjaan Umum
- 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, 2011. *Cara Uji Daktilitas Aspal*, Jakarta: Balitbang. Kementerian Pekerjaan Umum
- SNI, 2011. *Cara Uji Penetrasi Aspal*, Jakarta: BSNI
- SNI, 2012. *Metode Uji Penentuan Persentase Butir Pecah Pada Agregat Kasar*, Jakarta: BSN. Kementerian Pekerjaan Umum.
- SNI, 2011. *Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras*. Jakarta: Balitbang. Dinas Pekerjaan Umum.
- SNI, 2011. *Cara uji viskositas aspal pada temperatur tinggi dengan alat saybolt furol*. Jakarta: Balitbang. Dinas Pekerjaan Umum.
- SNI, 2011. *Cara Uji Titik Lembek Aspal Dengan Alat Cincin dan Bola (Ring and Ball)*. Jakarta: Balitbang. Dinas Pekerjaan Umum.
- SNI, 2011. *Cara Uji Penyelimutan dan Pengelupasan Pada Campuran Agregat-Aspal*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional. Dinas Pekerjaan Umum.
- SNI, 2014. *Tata Cara Pengambilan Contoh Uji Agregat*, Jakarta: BSN. Kementerian Pekerjaan Umum.

- RSNI, 2003. *Metode pengujian campuran beraspal panas dengan alat Marshall*, Pustran, Balitbang PU, Kementerian Pekerjaan Umum.
- Soehardi, F., 2018, *Penggunaan Material Lokal Quarry Muara Takus Sebagai Bahan Campuran Lapisan Pondasi Atas Pada Pengerasan Jalan Raya.*, Jurnal Teknik Sipil Siklus Vol 4 No 1, April 2018.
- Suroso, T. W., 2009, *Pengaruh Penambahan Plastik LDPE (Low Density Poly Ethilen) Dengan Cara Basah dan Cara Kering Terhadap Kinerja Campuran Beraspal*, Jurnal Jalan dan Jembatan Volume 26 No 2, Agustus 2009.
- Sukirman, S., 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Nova, Bandung.
- Sulaksono, S., 2001, *Rekayasa Jalan*, Penerbit Institut Teknologi Bandung.
- Sukirman, S., 2003. *Beton Aspal – Campuran Panas*. Granit, Jakarta.
- Wiyono, S., 2009, *Prediksi Kerusakan Pada Perkerasan Jalan Lentur*, Cetakan Pertama UIR Press, Pekanbaru.