

LAPORAN TUGAS AKHIR

**PENGUJIAN MARSHALL PADA MATERIAL PENYUSUN AC-WC
DENGAN TAMBAHAN LDPE DAN SERAT BAJA DRAMIX**

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Pendidikan Program Sarjana (S1)
Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun oleh:

**ANDRIYAN RAHMAT A.N
30201800021**

**ARI FITRIANSYAH
30201800026**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS ISLAM SULTAN
AGUNG SEMARANG TAHUN 2023 PROGRAM STUDI
TEKNIK SIPIL**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGUJIAN MARSHALL PADA MATERIAL PENYUSUN
AC-WC DENGAN TAMBAHAN LDPE DAN SERAT BAJA
DRAMIX



Andriyan Rahmat Aji Nugroho

NIM : 30201800021



Ari Fitriansyah

NIM : 30201800026

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, November 2023

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. Muhamad Rusli Ahyar, ST., M. Eng

NIDN : 0625059102

2. Dr. Juny Andry Sulistyono, ST., MT

NIDN : 0611118903

3. Ari Sentani, S.T., M.Sc

NIDN : 0604028502

Ketua Program Studi Teknik Sipil
جامعة سلطان ابي سفيان
Fakultas Teknik

Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M. Eng.

NIDN : 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: CA/A.2/SA-T/XI/2023

Pada hari ini tanggal 23 November 2023 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Muhamad Rusli Ahyar, ST., M. Eng.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama

2. Nama : Dr. Juny Andry Sulisty, ST., MT
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut dibawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Andriyan Rahmat Aji Nugroho Ari Fitriansyah
NIM : 30201800021 NIM : 30201800026

Judul : PENGUJIAN MARSHALL PADA MATERIAL PENYUSUN AC-WC
DENGAN TAMBAHAN LDPE DAN SERAT BAJA DRAMIX

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen Pembimbing	08 Maret 2023	-
2	Seminar Proposal	26 Mei 2023	ACC
3	Pengumpulan Data	23 Juni 2023	-
4	Analisis Data	06 Juli 2023	-
5	Penyusunan Laporan	14 Juli 2023	-
6	Selesai Laporan	13 Nov 2023	ACC

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan
Dosen Pembimbing Utama Dosen Pembimbing Pendamping

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M. Eng.

Dr. Juny Andry Sulisty, ST., MT.

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M. Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

1. NAMA : Andriyan Rahmat Aji Nugroho
NIM : 30201800021
2. NAMA : Ari Fitriansyah
NIM : 30201800026

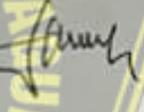
Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :
Pengujian Marshall pada material penyusun Ac-We dengan tambahan LDPE dan Serat Baja Dramix.

Benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, November 2023
Yang membuat Pernyataan,


Andriyan Rahmat Aji Nugroho
NIM : 30201800021


Ari Fitriansyah
NIM : 30201800026


UNISSULA
جامعة سلطان أبو جوح الإسلامية

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

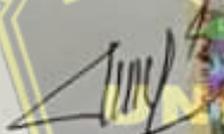
1. NAMA : Andriyan Rahmat Aji Nugroho
NIM : 30201800021
2. NAMA : Ari Fitriansyah
NIM : 30201800026
- JUDUL TUGAS AKHIR : Pengujian Marshall pada material penyusun Ac-Wc dengan tambahan LDPE dan Serat Baja Dramix.

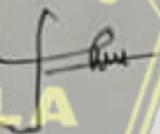
Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli kami sendiri. Kami tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, November 2023

Yang membuat pernyataan,


Andriyan Rahmat Aji Nugroho
NIM : 30201800021


Ari Fitriansyah
NIM : 30201800026

MOTTO

“Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik.” (QS. Ali Imran: 110).

“Jikalau penduduk negeri-negeri beriman dan bertaqwa. Pastilah kami akan melimpahkan kepada mereka berkah dari langit dan bumi, tetapi mereka mendustakan (ayat-ayat kami) itu, maka kami siksa mereka disebabkan perbuatannya.” (Qs. Al A’raf : 96).

“Dan barang -siapa yang bertakwa kepada Allah, niscaya Allah menjadikan baginya kemudahan dalam urusannya.” (Q.S At-Talaq: 4).

“Belajarlah kamu semua, dan mengajarlah kamu semua, dan hormatilah guru-gurumu, serta berlaku baiklah terhadap orang yang mengajarkanmu.” (HR Thabrani).

“Siapa yang menempuh jalan untuk mencari ilmu, maka Allah akan mudahkan baginya jalan menuju surga.” (HR Muslim)

“Barangsiapa yang keluar untuk menuntut ilmu, maka ia berada di jalan Allah hingga ia pulang.” (HR Tirmidzi).

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”. (QS. Al Insyirah : 5 – 6).

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.

Laporan Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua yang telah memberikan kasih sayang, motivasi, semangat, nasihat, dan tak lupa do'a nya untuk kelancaran dan kemudahan dalam mencari ilmu yang bermanfaat untuk mengejar cita-cita.
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST, M.Eng dan Bapak Dr. Juny Andry Sulistyono, ST, MT selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, terima kasih banyak bapak sudah membantu selama ini. Sudah menasehati, mengajari, dan mengarahkan sampai Tugas Akhir ini selesai.
3. Asisten Laboratorium Perkerasan jalan yaitu Mas Daryanto, Pak Tardi dan juga teman-teman yang sudah membantu dalam melaksanakan penelitian ini
4. Sahabat Listyo, Heri, Miftahul, Hadi, Ibnu, Lingga, Hafis, Pras dan kawan-kawan Teknik angkatan 2018 yang telah lulus mendahului, serta teman-teman diluar kampus di Alumni SMK Pembnas Purwodadi dan SMA N 1 Gubug yang selalu memberikan support dan bantuan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
5. Semua pihak yang tidak disebutkan dalam membantu penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.

Andriyan Rahmat Aji Nugroho

30201800021

Ari Fitriansyah

30201800026

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “Pengujian Marshall Pada Material Penyusun Ac-Wc Dengan Tambahan LDPE dan Serat Baja Dramix” guna untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini memperoleh bantuan dari pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudyono, MT., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M. Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan pelayanan dalam urusan akademik dan juga selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan selama penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Juny Andry Sulistyono, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu menyempatkan waktu untuk memberikan bimbingan dan arahan selama proses penyusunan skripsi ini berlangsung.
4. Seluruh dosen, staf, dan karyawan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung yang telah memberikan ilmu kepada penulis.
5. Kedua orangtua yang telah memberikan doa, motivasi serta dukungan kepada kami.

Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis dan juga akan manfaat bagi pembaca.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Semarang, November 2023

Penulis

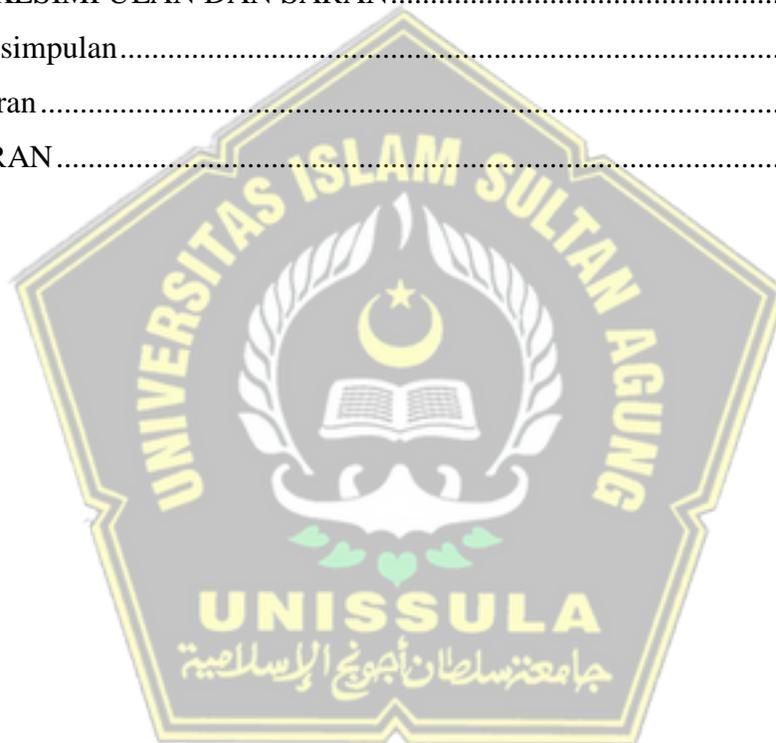
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN.....	Error! Bookmark not defined.
MOTTO.....	i
PERSEMBAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR GRAFIK.....	xi
Abstrak	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Pendahuluan	4
2.2 Karakteristik Beton Aspal	5
2.2.1 Stabilitas.....	5
2.2.2 Keawetan atau Durabilitas	6
2.2.3 Kelenturan atau fleksibilitas	6
2.2.4 Ketahanan terhadap kelelahan (fatigue resistance).....	6

2.2.5 Kekesatan atau tahanan geser (skid resistance)	7
2.2.6 Kedap air (impermeabilitas)	7
2.2.7 Mudah dilaksanakan (workability)	7
2.3 Agregat	8
2.3.1 Agregat Kasar	8
2.3.2 Agregat Halus	9
2.4 LDPE (<i>Low Density Polyethylene</i>).....	10
2.5 Serat Baja Dramix	10
2.6 Gradasi Agregat.....	11
2.7 Perencanaan Gradasi Campuran.....	12
2.8 Pengujian <i>Marshall</i>	13
2.8.1 Berat Jenis Bulk Dari Total Agregat.....	14
2.8.2 Berat Jenis Semu dari Total Agregat	15
2.8.3 Berat Jenis Efektif Agregat.....	15
2.8.4 Berat Jenis Maksimum Campuran.....	15
2.8.5 Berat Jenis Bulk Campuran Padat	16
2.8.6 Kepadatan (density)	16
2.8.7 VIM (Void In the Mix)	16
2.8.8 VMA (Void in Mineral Agregat).....	16
2.8.9 VFB (Void Filled with Bitumen).....	17
2.8.10 Stabilitas Dan Kelelahan (Flow).....	17
2.9 <i>Marshall Quotient</i> (MQ)	18
2.10 Penelitian Terdahulu yang sejenis	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Pendekatan.....	23
3.2 Alat dan Bahan Pengujian	23

3.3 Keperluan dan Analisis Data.....	24
3.3.1 Keperluan Data.....	24
3.3.2 Analisis Data.....	24
3.4 Variasi LDPE dan Serat Baja Dramix.....	24
3.5 Rancangan Campuran.....	25
3.6 Tahap Pengujian <i>marshall</i>	26
3.7 Tahapan penelitian.....	27
3.8 Metode Analisis.....	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Sifat - Sifat Campuran Aspal Panas dengan Metode Marshall.....	29
4.1.1 Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	30
4.2 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>).....	32
4.3 Hasil Pengujian Bahan Aspal Polimer (<i>JAP 57</i>).....	36
4.4 Pembuatan Benda Uji.....	37
4.5 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode <i>Marshall Test</i>	39
4.5.1 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test Aspal Normal.....	39
4.5.2 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test # LDPE 2% dan Serat Baja Dramix 1%.....	40
4.5.3 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test # LDPE 2% dan Serat Baja Dramix 2%.....	41
4.5.4 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test # LDPE 2% dan Serat Baja Dramix 3%.....	42
4.5.5 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test # LDPE 4% dan Serat Baja Dramix 1%.....	43
4.5.6 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test # LDPE 4% dan Serat Baja Dramix 2%.....	44
4.5.7 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test # LDPE 4% dan Serat Baja Dramix 3%.....	45

4.5.8 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test # LDPE 6% dan Serat Baja Dramix 1%.....	46
4.5.9 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test # LDPE 6% dan Serat Baja Dramix 2%.....	47
4.5.10 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test # LDPE 6% dan Serat Baja Dramix 3%.....	48
4.6 Perbandingan Kadar LDPE dan Dramix pada campuran Aspal.....	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	50
5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran.....	50
LAMPIRAN.....	53



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ketentuan Agregat Kasar	9
Tabel 2.2 Persyaratan Agregat Halus.....	9
Tabel 2.3 Ukuran Ayakan	12
Tabel 2.4 Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal	13
Tabel 2.5 Faktor koreksi stabilitas	18
Tabel 2.6 Penelitian Terdahulu	19
Tabel 4.1 (SNI.06-2489-1991 / AASHTO T.245-90).....	29
Tabel 4.2 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design) LDPE 2% dan Dramix 1%	32
Tabel 4.3 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design) LDPE 2% dan Dramix 2%	32
Tabel 4.4 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design) LDPE 2% dan Dramix 3%	33
Tabel 4.5 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design) LDPE 4% dan Dramix 1%	33
Tabel 4.6 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design) LDPE 4% dan Dramix 2%	34
Tabel 4.7 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design) LDPE 4% dan Dramix 3%	34
Tabel 4.8 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design) LDPE 6% dan Dramix 1%	35
Tabel 4.9 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design) LDPE 6% dan Dramix 2%	35
Tabel 4.10 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design) LDPE 6% dan Dramix 3%	36
Tabel 4.11 Pengujian Aspal JAP 57 (Jaya Aspal Polymer)	37
Tabel 4.12 Rincian Benda Uji.....	38
Tabel 4.13 Rekap Hasil Pengujian Marshall Aspal Normal	39

Tabel 4.14 Rekap Hasil Pengujian Marshall LDPE 2% & Dramix 1%	40
Tabel 4.15 Rekap Hasil Pengujian Marshall LDPE 2% & Dramix 2%	41
Tabel 4.16 Rekap Hasil Pengujian Marshall LDPE 2% & Dramix 3%	42
Tabel 4.17 Rekap Hasil Pengujian Marshall LDPE 4% & Dramix 1%	43
Tabel 4.18 Rekap Hasil Pengujian Marshall LDPE 4% & Dramix 2%	44
Tabel 4.19 Rekap Hasil Pengujian Marshall LDPE 4% & Dramix 3%	45
Tabel 4.20 Rekap Hasil Pengujian Marshall LDPE 6% & Dramix 1%	46
Tabel 4.21 Rekap Hasil Pengujian Marshall LDPE 6% & Dramix 2%	47
Tabel 4.22 Rekap Hasil Pengujian Marshall LDPE 6% & Dramix 3%	48
Tabel 4.23 Perbandingan kadar LDPE dan Dramix.....	49



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Satu Set Ayakan	11
Gambar 2.2 Alat <i>Marshall</i>	14
Gambar 3.1 Bagan Alur Penelitian	27
Gambar 4.1 Sampel Benda Uji.....	39



DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Penentuan Kadar Aspal Optimum	31
--	----



PENGUJIAN MARSHALL PADA MATERIAL PENYUSUN AC-WC DENGAN BAHAN TAMBAHAN LDPE DAN SERAT BAJA DRAMIX

Abstrak

Sampah plastik adalah limbah yang berbahaya bagi pencemaran lingkungan entah didaratan ataupun dilautan, terutama dinegara indonesia ini sendiri yang sekarang menempati peringkat kedua lautan terkotor didunia setelah china. Dengan adanya permasalahan demikian tujuan dari penelitian ini adalah bagaimana cara mengurangi limbah sampah plastik yang berbahaya bagi lingkungan. Salah satu upaya untuk mengurangi limbah plastik tersebut adalah dengan menggunakannya sebagai modifier atau bahan campuran yang ditujukan untuk perkerasan jalan sebagai upaya meningkatkan kualitas aspal dengan bahan tambahan (*fixing*). Oleh karena itu peneliti mencari tahu bagaimana cara kerjanya dengan menambahkan limbah LDPE (*low density polyethylene*) dan serat baja dramix sebagai bahan campuran aspal.

Pada eksperimen yang dilaksanakan dilaboratorium menggunakan bahan campuran LDPE (*low density polyethylene*) dengan komposisi 2%, 4%, dan 6% serta Serat Baja Dramix dengan komposisi 1%, 2%, dan 3% untuk setiap pembuatan benda uji. Ada beberapa pengujian bahan yang akan dilakukan seperti pengujian analisa saringan, kadar air, berat jenis, kadar lumpur, dan pengujian *marshall*.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini, komposisi terbaik pada *Asphalt Concrete Wearing Course* Modifikasi dengan kombinasi campuran LDPE (*low density polyethylene*) 2% dan Serat Baja Dramix 1%, pengaruh kekuatan untuk *Asphalt Concrete Wearing Course* Modifikasi dengan nilai VIM = 4,36, VMA = 3,98, VFB = 87,53, Stabilitas = 1.112,59, Flow = 3,20 dan MQ = 397,35.

Kata Kunci: Limbah Plastik; LDPE; Dramix; *Marshall*; *Flow*

MARSHALL TESTING ON AC-WC MATERIALS WITH ADDITIONAL LDPE AND DRAMIX STEEL FIBER

Abstract

Plastic waste is waste that is very dangerous for environmental pollution, whether on land or at sea, especially in Indonesia itself, which is now ranked as the second dirtiest ocean in the world after China. Given these problems, the aim of this research is how to reduce plastic waste which is dangerous for the environment. One effort to reduce plastic waste is to use it as a modifier or mixed material intended for road pavement as an effort to improve the quality of asphalt with additional materials (fixing). Therefore, researchers are looking to find out how it works by adding LDPE (low density polyethylene) waste and dramix steel fiber as asphalt mixture ingredients.

In experiments carried out in the laboratory, a mixture of LDPE (low density polyethylene) with a composition of 2%, 4% and 6% and Dramix Steel Fiber with a composition of 1%, 2% and 3% was used for each test object. There are several material tests that will be carried out such as sieve analysis testing, water content, specific gravity, mud content, and Marshall testing.

Based on the results obtained from this research, the best composition for Modified Asphalt Concrete Wearing Course is a mixture of 2% LDPE (low density polyethylene) and 1% Dramix Steel Fiber, and the strength effect for Modified Asphalt Concrete Wearing Course with a VIM value = 4.36, VMA= 3.98 ,VFB= 87.53 ,Stability= 1,112.59 ,Flow= 3.20 and MQ= 397.35.

Keywords: Plastic Waste; LDPE; Dramix; Marshall; Flow

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seperti yang dipahami bersama, isu lingkungan saat ini banyak mendapat perhatian baik secara nasional maupun global, lingkungan hidup terancam oleh berbagai dampak ulah manusia setiap tahunnya. Salah satu masalah lingkungan yang paling nyata saat ini adalah masalah sampah plastik, produknya ringan, fleksibel dan relatif murah. Berkat berbagai kelebihan dan kemudahan tersebut, penggunaan plastik ini menjadi sangat global dan dampak negatifnya sering kali diabaikan. Selain mencemari lingkungan bumi, beberapa plastik akhirnya mencemari lautan sebagai marine debris (sampah dunia). Jumlah sampah plastik di lautan sangat besar, Indonesia sendiri menempati urutan kedua setelah China yang diperkirakan menyumbang sekitar 10% dari seluruh sampah plastik di dunia. (Prof. Jenna Jambeck, 2015).

Menurut Gerakan Indonesia Diet Kantong Plastik, pada tahun 2016 ditemukan bahwa kantong plastik mendominasi sampah yang berasal dari Indonesia atau sampah laut itu sendiri. Penggunaan bahan plastik ini tidak dapat dikurangi bahkan dihilangkan di negara ini bahkan di dunia, sehingga kita harus mencari segala cara agar setiap orang tidak dirugikan oleh semua pihak, termasuk penggunaan sampah plastik untuk golongan tertentu. Kebutuhan yang diperlukan dapat diperoleh dari limbah plastik.

Plastik merupakan bahan yang tahan lama bila digunakan sebagai limbah. Supaya plastik bisa menjadi bahan yang aman dan terurai membutuhkan waktu sampai ratusan bahkan ribuan tahun. Itu sebabnya kami sekarang berusaha mengurangi jumlah sampah plastik, penduduk dunia mengkonsumsi sekitar satu juta sampah plastik setiap tahunnya, sampah plastik merupakan masalah utama, jika masuk ke lingkungan, maka harus ditutupi. Untuk penggunaannya, baik didaur ulang atau lainnya dengan indikasi untuk tujuan yang lebih bermanfaat.

Modifier yang umum dipakai dalam memberikan peningkatan pada kualitas campuran aspal yaitu polimer. Polimer ini juga terdapat dalam bahan plastik, jadi plastik bisa dimanfaatkan menjadi bahan tambahan campuran aspal. Pada tahun 2017, PUSJATAN atau “Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan” meneliti yang berfokus pada pemanfaatan kantong plastik. Berlandaskan penelitian yang dilakukan, pemanfaatan limbah plastik pada campuran beraspal memunculkan campuran yang lebih tahan terhadap kelelahan dan deformasi. Teknologi yang dijalankan menjadi bagian dari reduksi sampah plastik yang berbahaya baik bagi manusia dan lingkungannya.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana upaya untuk mengurangi limbah sampah plastik LDPE ?
2. Bagaimana cara kerja dengan adanya penambahan limbah LDPE sebagai bahan campuran untuk aspal ?

1.3 Tujuan Penelitian

Terdapat berbagai tujuan penelitian yang ada pada penelitian ini, yakni

1. Menganalisa persentase optimal untuk LDPE dan Serat Baja Dramix pada campuran aspal.
2. Mengetahui perbandingan sifat *marshall* pada *Ac-Wc* dengan kombinasi campuran LDPE dan Serat Baja Dramix.

Semarang.

1.4 Batasan Masalah

1. Penelitian ini hanya membahas sifat-sifat Marshall. Perbandingan aspal biasa dan aspal dengan campuran LDPE dan Serat Baja Dramix.
2. penelitian ini memanfaatkan perkerasan lentur dalam hal lapisan perkerasan aspal.
3. Studi ini tidak mempertimbangkan anggaran yang dibutuhkan.
4. Pelaksanaan penelitian dijalankan di Laboratorium Jalan Raya Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki nilai kemanfaatan, yaitu:

1. Untuk meningkatkan visi secara keseluruhan dan melakukan pengembangan pemikiran dalam melakukan inovasi baru dalam penggunaan campuran aspal limbah LDPE.
2. Untuk memahami berapa lama pemakaian LDPE limbah untuk memberikan peningkatan kekuatan lapisan perkerasan.
3. Untuk mengurangi jumlah limbah kantong plastik yang berbahaya bagi manusia dan lingkungannya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistem penulisan yang dipakai selama persiapan sampai dengan selesai dimana susunanya yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini “berisi latar belakang masalah, rumusan masalah dan batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika menulis.”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini “mencakup teori, definisi dan formula penulis gunakan untuk mendukung penelitian ini berasal dari referensi penulis ke berbagai sumber.”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini “menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian untuk mendapatkan informasi – informasi yang diperlukan dalam pengolahan data.”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini “menjelaskan Implementasi laboratorium yang meliputi pengumpulan data, pengolahan data, analisis, dan pembahasan berdasarkan hasil data eksperimen laboratorium dan teori yang ada.”

BAB V PENUTUP

Bab ini “merupakan bagian terakhir yang berisi tentang kesimpulan yang didapat dari hasil Analisa Ac-Wc dengan penambahan LDPE dan serat baja dramix.”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Perkerasan jalan bebas hambatan merupakan bagian dari jalan bebas hambatan yang diaspal berlapis-lapis dengan struktur unik yang juga memiliki stabilitas, kekuatan dan ketebalan tertentu untuk mendistribusikan beban lalu lintas dan menyalurkannya dengan aman ke tanah dasar. Lapisan aspal letaknya diantara roda kendaraan dan lapisan tanah dasar yang mampu memberikan jenis bantuan ke sarana transportasi dan ketika bantuan diberikan lapisan aspal tidak mengalami kerusakan serius. Agar aspal jalan sesuai dengan kualitas normalnya, informasi tentang ide perolehan dan penanganan bahan penyusun aspal jalan sangatlah mendasar. (Serli Carlina, 2013).

LDPE juga menjadi termoplastik yakni jenis plastik yang dapat diproses dengan pendinginan dan pemanasan, dimana bahan dasarnya yaitu minyak bumi yang sudah ditambang semenjak tahun 1933. Cirikhasnya bening dan ringan, lentur dan relatif tipis yang menjadikannya mudah dibuat untuk berbagai bahan atau produk. LDPE merupakan salah satu jenis polimer yang pertama kali diperkenalkan ke dunia industri. Saat ini, plastik LDPE bersaing dengan polimer yang lebih baru dan lebih keras seperti HDPE, tetapi keunggulan LDPE membuatnya populer di kalangan bisnis industri, dan rumah.

Saat ini banyak yang mencoba mencari solusi dari permasalahan tersebut, mencari bahan pengikat dan sifat-sifat seperti filler atau additive demi memberikan peningkatan kualitas campuran beton aspal supaya tahan terhadap air. Demi mendapatkan zat yang memiliki kecocokan, harus diuji dengan mencampur beton aspal dengan LDPE dan diuji dengan Marshall, kemudian efek penambahan bahan tersebut harus dianalisis. Sesuatu yang pantas untuk dicoba sangat menarik. (Kartolo et al., 2016).

2.2 Karakteristik Beton Aspal

Beton aspal setidaknya memiliki tujuh cirikhas campuran yang mesti ada didalamnya, yaitu:

1. Mudah untuk dilaksanakan
2. Kedap air
3. Ketahanan geser atau kekesatan permukaan
4. Ketahanan terhadap kelelahan
5. Fleksibilitas atau kelenturan
6. Durabilitas atau keawetan
7. Stabilitas

2.2.1 Stabilitas

Stabilitas yaitu kemampuan permukaan jalan dalam memberikan penahanan kepada beban lalu lintas tanpa deformasi permanen seperti undulasi, kerutan dan kebocoran. Kebutuhan stabilitas berbanding dengan pengoperasian beban lalu lintas dan jalan yang dilayannya.

Jalan yang melayani lalu lintas berat dan sebagian besar kendaraan yang melewatinya relatif berat mengharuskan adanya stabilitas yang tinggi dan stabilitas yang tinggi tidak dibutuhkan ketika lalu lintas yang terjadi termasuk ringan. (Serli Carlina, 2013)

Stabilitas beton aspal dibentuk oleh berbagai faktor, yaitu:

1. Gesekan internal yaitu disebabkan oleh Tebal lapisan aspal, berat jenis campuran, kadar agregat, bentuk butir, luas kontak antar butir, dan kekasaran permukaan butir agregat. Stabilitas dihasilkan melalui gesekan internal antara butiran agregat yang saling mengunci. Rongga di antara butiran diisi dengan agregat yang lebih kecil, pemilihan agregat yang bermutu baik atau padat meminimalkan rongga antar agregat dimana hal ini menghasilkan stabilitas yang diinginkan karena kepadatannya.
2. Adhesi aspal yang memungkinkannya mempertahankan kontak dengan butiran agregat, inilah yang membuatnya kohesi. Penetrasi aspal, perubahan viskositas yang disebabkan oleh suhu, beban, komposisi kimia aspal, serta pengaruh waktu

dan penuaan aspal semuanya memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan kohesif. Kerentanan aspal terhadap pengerasan dan penggetasan, yang mengurangi kekuatan kohesifnya, ditentukan oleh karakteristik reologi atau penuaannya.

2.2.2 Keawetan atau Durabilitas

Daya tahan dimaknai dengan kemampuan beton aspal untuk menahan beban lalu lintas berulang yaitu berat kendaraan, gesekan yang terjadi di permukaan jalan antar roda kendaraan dan keausan karena iklim dan cuaca misalnya perubahan suhu, air dan udara. Lapisan atau ketebalan aspal juga memberikan pengaruh pada daya tahan beton aspal, ketahanan air, kepadatan campuran dan jumlah rongga yang terdapat pada campuran juga turut mempengaruhinya. Tebalnya penutup aspal turut membungkus agregat secara merata dimana hal ini menyebabkan kedap air pada beton aspal dan menghasilkan beton aspal yang mampu menahan keausan. Menebalnya perkerasan aspal menjadikan beton aspal mudah merembes atau naiknya aspal ke permukaan jalan, dimana hal ini menyebabkan aspal licin.

Banyaknya rongga yang tersisa pada campuran sesudah pemadatan malah bisa saja mengurangi daya tahan aspal beton. Semakin besar lubangnya maka beton aspal semakin tidak kedap air. Banyaknya udara yang dikandung beton aspal, memudahkan pemrukaannya teroksidasi dengan udara, dimana hal ini menjadikannya rapuh dan menurunkan daya tahannya. (Serli Carlina, 2013)

2.2.3 Kelenturan atau fleksibilitas

Fleksibilitas dimaknai dengan kemampuan beton aspal dalam memperbaiki fondasi penurunan atau pemadatan tanpa adanya retakan. Beban lalu lintas atau mati yang dibangun diatas tanah asli menyebabkan penurunan muka tanah. Kemampuan beradaptasi dapat diperluas dengan memanfaatkan batu kasar dan lapisan hitam yang tinggi. (Serli Carlina, 2013)

2.2.4 Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*)

Kemampuan beton aspal untuk menyerap lendutan akibat beban lalu lintas berulang tanpa menunjukkan kelelahan berupa skoring atau retak disebut sebagai ketahanan

lelah. Ini dapat dicapai dengan menggunakan sebagian besar aspal. (Serli Carlina, 2013)

2.2.5 Kekesatan atau tahanan geser (*skid resistance*)

Kemampuan permukaan beton aspal untuk mengerahkan gaya gesek pada roda kendaraan agar kendaraan tidak tergelincir atau tergelincir terutama pada kondisi basah dikenal dengan tahanan gesek atau geser (*skid*). Kekasaran permukaan butir agregat, bidang kontak butir-ke-butir, bentuk butir, kualitas agregat, kerapatan campuran, dan ketebalan film aspal sama dengan yang terlibat dalam mencapai stabilitas tinggi. Kekasaran permukaan juga ditentukan oleh ukuran maksimum butiran agregat. Alhasil, bahan aditif yang dipakai memiliki permukaan kasar dan memiliki masa pakai yang lama agar permukaan kendaraan tidak mudah licin saat digunakan berulang kali. (Serli Carlina, 2013)

2.2.6 Kedap air (*impermeabilitas*)

Permeabilitas mengacu pada kemampuan beton aspal untuk mencegah udara atau air menembus lapisan yang dimiliki. Udara atau air bisa mempercepat penuaan pada aspal dan menghilangkan lapisan aspal atau perkerasan dari permukaan batuan, banyaknya rongga yang tertinggal sesudah pemadatan beton aspal bisa menjadi indikasi kekencangan campuran. Tingkat impermeabilitas beton aspal berbanding terbalik dengan daya tahannya. (Serli Carlina, 2013)

2.2.7 Mudah dilaksanakan (*workability*)

Workability merupakan keadaan dimana campuran beton aspal menyebar dan memadat dengan mudah. Kemudahannya dalam menggunakan menjadi penentu efektivitas pekerjaan. Berbagai faktor yang memudahkan aplikasi dan proses pemadatan yaitu viskositas aspal, kepekaan aspal pada berubahnya temperatur, serta kualitas dan keadaan agregat. Model campuran dapat direvisi atau ditingkatkan jika kesulitan implementasi teridentifikasi. (Serli Carlina, 2013).

2.3 Agregat

Pasir, abu bati dan batu pecah adalah contoh agregat, yaitu bahan butiran yang padat dan keras. Sifat agregat yang dipakai menjadi penentu daya dukung permukaan jalannya. Hal tersebut menjadikan kerikil memegang kunci utama dalam transportasi khususnya berkaitan dengan aspal. Berhasilnya pemeliharaan atau pembangunan jalan tergantung pada pemilihan batu yang tepat yang memenuhi persyaratan. (Suhardi, 2016).

Agregat diartikan dengan formasi padat dan keras di kerak bumi. Agregat dalam pandangan ASTM adalah bahan yang tersusun dari mineral pada dalam bentuk masa atau fragmen yang besar, agregat menjadi komponen utama struktur perkerasan jalan, dimana 90-95% beratnya adalah agregat atau 75-85% volume agregat, dimana hal ini menjelaskan bahwasanya percampuran agregat dengan materi lainnya serta sifat yang terdapat dalam agrgeat menjadi penentu kualitas permukaan jalan. (Serli Carlina, 2013)

2.3.1 Agregat Kasar

Bagian kasar dari campuran sampel tetap berada di saringan no. 4 (4,75 mm), tahan lama, keras, bersih, dan tidak basah serta bebas dari tanah liat dan bahan lain dimana harus dalam kondisi tertentu. Fraksi kasar adalah batu pecah yang diproses dan diproduksi dengan ukuran yang normal selaras dengan campuran yang dimaksud. (Banurea, 2020). Agregat kasar harus memiliki sudut yang dipersyaratkan, agregat kasar dimaknai dengan persentase berat agregat yang lebih besar dari 4,75 mm dengan satu atau lebih permukaan datar pecah didasarkan pada pengujian menurut SNI 7619:2012. (Banurea, 2020).

Tabel 2.1 Ketentuan Agregat Kasar

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

(Sumber : Bina Marga 2020 revisi 2)

2.3.2 Agregat Halus

Pasir bersih biasanya disaring sebagai kombinasi, dengan agregat halus tertinggal di saringan No. 200 setelah melewati saringan No. 4. (Banurea, 2020). Agregat yang tahan lama, keras dan bersih harus terhindar dari bahan organik dan lumpur. Butiran yang melewati saringan 40 tidak boleh plastis atau masih dalam ketahanan kelenturan, konvergensi bahan berbutir halus tidak dibatasi kecuali bahan yang lolos ayakan 200 untuk Perawatan Kekuatan dan Campuran sesuai Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Persyaratan Agregat Halus

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 C117: 2012	Maks. 10%

(Sumber : Bina Marga 2020 revisi 2)

Jika ada pasir asin yang keluar dari pantai yang kemungkinan tidak akan mengganggu campuran, bahan ini dapat digunakan sebagai pengisi campuran aspal. Ketika pasir berasal dari sumber alami, material yang tertahan di layar 50 memiliki kehilangan integritas kurang dari 15%. Menurut AASHTO M303-89 agregat tambahan terdiri dari debu kapur, debu kapur, kalsium karbonat, CaCO₃, atau debu kapur. Mineral yang berasal dari semen atau fly ash dari sumber yang disetujui pemerintah; jika aspal mookkaus diperlakukan dengan fly ash, filler yang ditambahkan akan menggabungkan filler fly ash. Filler tambahan harus kering dan tidak disimpan dan dicoba dengan penyaringan sesuai SNI ASTM C136: 2012 harus mengandung bahan minimal 75%, kecuali tumbul abu mineral, filter 200 (75 mikron). Setidaknya 1% berat ada di setiap campuran aspal. (Banurea, 2020).

2.4 LDPE (*Low Density Polyethylene*)

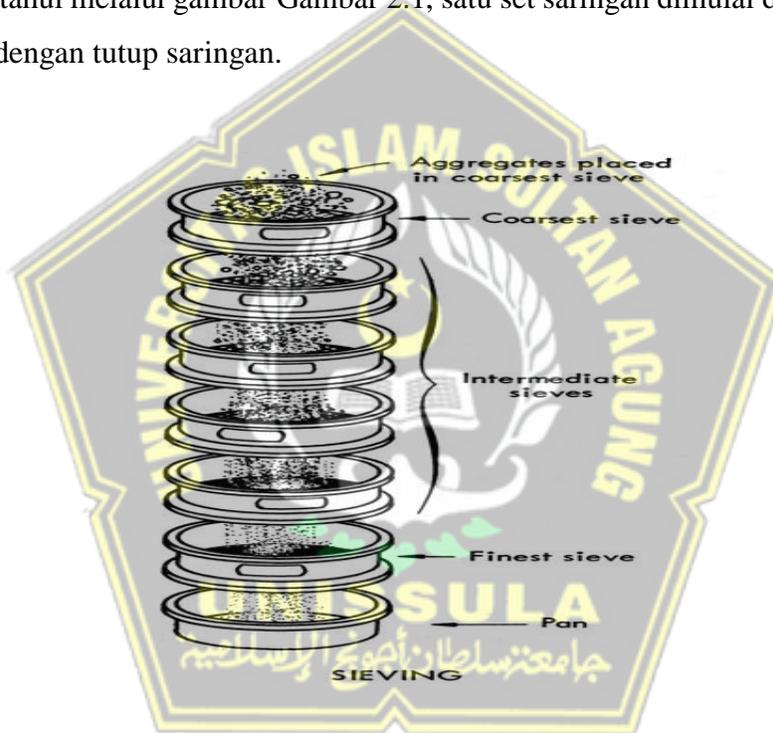
Aspal berkualitas tinggi dapat ditingkatkan dengan menambahkan aditif seperti polietilen (LDPE, HDPE, PET, dll.), Yang diperlukan untuk permukaan berkualitas tinggi. Rubber atau EVA, yang dibuktikan dengan naiknya nilai stabilitas Marshall. Dinas PUPR atau “Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat” mendorong inovasi pencampuran plastik atau karet penutup hitam untuk dilibatkan di beberapa ruas jalan di Indonesia guna mendaur ulang sampah plastik. Inovasi blending plastic-black-top memanfaatkan bahan tambah limbah plastik LDPE, yang dicampur dengan kombinasi black-top AC WC. Teknologi pencampuran plastik bituminous memiliki keunggulan tidak mudah kusut saat berkendara di aspal basah, sehingga meningkatkan ketahanan kompon terhadap deformasi atau rutting dan retak. (Kementerian PUPR, 2017).

2.5 Serat Baja Dramix

Serat baja dramix merupakan konsep serat baja inovatif dari pakar industri. Dramix digunakan di hampir seluruh konstruksi yang dilakukan di dunia, dimana dramix dipakai dalam pembuatan tempat parkir bawah tanah, permukaan jalan, lantai gedung, lantai industri dan lainnya.

2.6 Gradasi Agregat

Mengevaluasi adalah rencana total butir sesuai ukurannya, yang mempengaruhi sifat aspal jalan secara keseluruhan, ukuran butir total dapat diperoleh dengan tes pengujian pengayakan. Panjang total tampilan menunjukkan ukuran apertur, dan jumlah kotak menunjukkan jumlah apertur per inci. Set filter biasanya memiliki angka mulai dari 4 hingga 200. Tabel 2.3 menunjukkan peluncuran setiap layar berdasarkan AASHTO, total pengumpulan hasil eksperimen dan pemeriksaan dengan 1 saringan. Ayakan terbesar ada di atas dan yang terbaik (200) ada di dasar sebelum pot. Deskripsi tersebut bisa diketahui melalui gambar Gambar 2.1, satu set saringan dimulai dengan panci dan diakhiri dengan tutup saringan.



Gambar 2.1 Satu Set Ayakan

Tabel 2.3 Ukuran Ayakan

Ukuran Ayakan	Bukaan Ayakan (mm)
4 inci	100
3 ½ inci	90
3 inci	75
2 ½ inci	63
2 inci	50
1 ½ inci	37,5
¾ inci	25
½ inci	19
3/8 inci	9,5
No.4	4,75
No.8	2,36
No.16	1,18
No.30	0,6
No.50	0,3
No.100	0,15
No.200	0,075

(Sumber : SNI ASTM C136:2012)

2.7 Perencanaan Gradasi Campuran

Dalam hal komposisi aspal, pemilihan agregat secara keseluruhan sangat penting. Koneksi Ac-Wc digunakan untuk membuat soal tes. (Banurea, 2020). Spesifikasi Badan Perumahan dan Prasarana untuk peringkat campuran aspal AC-WC dari tahun 2004 disajikan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix Asphalt (SMA)			Laston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	AC	BC	Base
1 ½"	37,5								100
1"	25			100				100	90-100
¾"	19		100	90-100	100	100	100	90-100	76-90
½"	12,5	100	90-100	50-88	90-100	90-100	90-100	75-90	60-78
3/8"	9,5	70-95	50-80	25-60	75-85	65-90	77-90	66-82	52-71
No.4	4,75	30-50	20-35	20-28			53-69	46-64	35-54
No.8	2,36	20-30	16-24	16-24	50-72	35-55	33-53	30-49	23-41
No.16	1,18	14-21					21-40	18-38	13-30
No.30	0,600	12-18			35-60	15-35	14-30	12-28	10-15
No.50	0,300	10-15					9-22	7-20	6-15
No.100	0,150						6-15	5-13	4-10
No.200	0,075	8-12	8-11	8-11	6-10	2-9	4-9	4-8	3-7

(Sumber : Bina marga 2020 revisi 2)

2.8 Pengujian Marshall

Evaluasi terhadap kinerja beton aspal dilakukan melalui berbagai benda pengujian seperti:

1. Mengevaluasi volume dan berat benda uji.
2. Mengevaluasi betapa pentingnya stabilitas.
3. Uji leleh
4. Penghitungan *Marshall Qoutient* yaitu dengan membandingkan nilai flow dan stabilitas.
5. penghitungan beragam jenis volume rongga (VIM, VMA, dan VFB) pada beton aspal padat perhitungan ketebalan film atau selimut aspal.

Tes *Marshall* awal pengembangannya dilakukan oleh Bruce Marshall, digunakan untuk pengujian kinerja beton aspal padat. Seperti pada Gambar 2.2, alat *Marshall* adalah alat kompresi dengan ring keras yang memiliki kapasitas 22,2 KN (atau 5000 lbf) dan flow meter.



Gambar 2.2 Alat *Marshall*

Alat Marshall hanya dipakai untuk menentukan nilai stabilitas dan aliran dari enam pengujian yang biasanya dijalankan untuk menilai kinerja beton aspal, parameter yang lain ditentukan dengan menghitung dan menimbanginya. Ada berbagai alasan untuk menggunakan tes Marshall, termasuk:

1. Sebagai fitur dari proses penataan campuran substansial beton aspal.
2. Sebagai bagian dari sistem penjaminan mutu campuran.

Proses pembuatan soal tes Marshall dapat berbeda-beda tergantung dari tujuan tes tersebut, yang merupakan bagian dari penelitian tentang sifat-sifat beton aspal. Oleh karena itu, sebelum membuat soal tes, penting untuk menjelaskan alasan dilakukannya tes tersebut. Tes *Marshall* umumnya meliputi:

1. Pembuatan benda uji.
2. Uji berat jenis beberapa benda uji.
3. Uji kestabilan dan aliran
4. Estimasi sifat volumetrik contoh.

2.8.1 Berat Jenis Bulk Dari Total Agregat

Ketebalan massa ialah proporsi berat suatu zat di udara (menghitung rongga yang tidak dapat ditembus yang menahan air) per satuan volume pada suhu tertentu dengan berat air sulingan volume serupa pada suhu tertentu. Setiap bagian total individu (total kasar, total halus tanpa akhir) memiliki gravitasi eksplisit spesifik. (Banurea, 2020). Berikut adalah rumus untuk mencari berat jenis bulk dari total agregat:

$$G_{sb\text{total}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

- Gsbtotal : Berat jenis *bulk* agregat gabungan, (gr/cc)
- P1, P2, P3 : Persentase berat dari masing-masing agregat, (%)
- Gsb1, Gsb2, Gsb3 : Berat jenis *bulk* masing-masing agregat, (gr/cc)

2.8.2 Berat Jenis Semu dari Total Agregat

Berat jenis semu dari total agregat diketahui dengan memperhatikan nilai yang dihasilkan dari rumus berikut:

$$G_{s\text{total}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sa1}} + \frac{P_2}{G_{sa2}} + \frac{P_3}{G_{sa3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{san}}} \dots\dots\dots (2.2)$$

- G_stotal : Berat jenis semu agregat gabungan, (gr/cc)
- P1, P2, P3 : Persentase berat dari masing-masing agregat, (%)
- G_{sa}1, G_{sa}2, G_{sa}3 : Berat jenis semu masing-masing agregat, (gr/cc)

2.8.3 Berat Jenis Efektif Agregat

Rasio berat suatu zat di udara (tidak termasuk rongga berisi aspal) dengan berat air suling pada volume dan suhu yang sama dikenal sebagai berat jenis efektif. Rumus untuk total berat jenis agregat efektif adalah sebagai berikut:

$$G_{se} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \dots\dots\dots (2.3)$$

- Keterangan :
- G_{se} : Berat jenis efektif total agregat, (gr/cc)
- G_{sb} : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)
- G_{sa} : Berat jenis semu agregat, (gr/cc)

2.8.4 Berat Jenis Maksimum Campuran

Gravitasi eksplisit terbesar dari campuran diharapkan untuk menemukan atau menghitung tingkat rongga udara dalam kombinasi. Resep berikut digunakan untuk menentukan nilai gravitasi eksplisit paling ekstrim dari kombinasi tersebut:

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_{mm} - P_b}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots (2.4)$$

- Keterangan :
- G_{mm} : Berat jenis maksimum campuran (gr/cc)
- P_{mm} : Persentase berat total campuran (=100)
- P_s : Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran (%)
- P_b : Persentase kadar aspal terhadap berat total campuran (%)
- G_{se} : Berat jenis efektif agregat (gr/cc)
- G_b : Berat jenis aspal (gr/cc)

2.8.5 Berat Jenis Bulk Campuran Padat

Rumus berikut dapat digunakan untuk menentukan massa jenis campuran padat:

$$G_{mb} = \frac{W_a}{V_{bulk}} \dots\dots\dots (2.5)$$

- Keterangan :
- G_{mb} : Berat jenis campuran setelah dipadatkan (gr/cc)
 - V_{bulk} : Volume campuran setelah pemadatan (cc)
 - W_a : Berat di udara (gr)

2.8.6 Kepadatan (density)

Density merupakan tingkat kerapatan campuran setelah campuran dipadatkan. Nilai kepadatan dihitung dengan rumus berikut ini:

$$\text{Kepadatan} = \frac{W_m}{W_{mssd} - W_{mpw}} \dots\dots\dots (2.6)$$

- Keterangan :
- W_m : Berat benda uji kering (gr)
 - W_{mssd} : Berat benda uji ssd setelah dipadatkan (gr)
 - W_{mpw} : Berat benda uji dalam air setelah dipadatkan (gr)

2.8.7 VIM (Void In the Mix)

Persentase rongga dalam campuran total disebut VIM. Menurut spesifikasi Bina Marga tahun 2010, nilai VIM harus antara 3% sampai 5%. Rumus untuk menghitung nilai VIM adalah sebagai berikut:

$$\text{VIM} = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100 \dots\dots\dots (2.7)$$

- Keterangan :
- VIM : Rongga udara pada campuran (%)
 - G_{mm} : Berat jenis campuran maksimum setelah pemadatan (gr/cc)
 - G_{mb} : Berat jenis *bulk* campuran setelah pemadatan (gr/cc)

2.8.8 VMA (Void in Mineral Agregat)

Persentase rongga udara dan volume aspal efektif antara partikel agregat dalam sampel uji disebut sebagai VMA. Sesuai dengan persyaratan Bina Marga (Versi 2) Tahun 2020, nilai VMA yang dipersyaratkan minimal harus 15%.

Rumus yang dapat digunakan untuk menghitung VMA adalah sebagai berikut:

$$\text{VMA} = (100 (G_{sb} - G_{mb}) + G_{mb} \cdot P_s) / G_{sb} \quad (2.8)$$

- Keterangan :
- VMA : Rongga udara pada mineral agregat (%)

- Gmb : Berat jenis bulk campuran setelah pemadatan (gr/cc)
- Gsb : Berat jenis bulk dari total agregat (gr/cc)
- Ps : Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran (%)

2.8.9 VFB (Void Filled with Bitumen)

Setelah pemadatan, persentase rongga yang terisi aspal dalam campuran disebut VFB. Setidaknya 65% diperlukan untuk nilai VFB. Rumus berikut dapat digunakan untuk menentukan nilai VFB:

$$VFB = \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \times 100 \dots\dots\dots (2.9)$$

- Keterangan :
- VFB : Persentase rongga udara yang terisi aspal (%)
- VMA : Persentase rongga udara pada mineral agregat (%)
- VIM : Persentase rongga udara pada campuran (%)

2.8.10 Stabilitas Dan Kelelahan (Flow)

Pengukur aliran mengukur jumlah lelehan yang dihasilkan oleh tegangan, dan uji stabilitas diperlukan untuk menentukan ketahanan tegangan benda uji. Untuk mendapatkan contoh suhu yang berhubungan dengan suhu yang paling penting di lapangan, contoh tersebut dihangatkan dengan shower air bersuhu 60 °C selama 30 atau 40 menit sebelum dilakukan pengujian. Sampel dimasukkan ke dalam mesin Marshall dengan kecepatan 2 inci per menit, atau 51 mm per menit, untuk pengukuran. Penghitung ban padat membaca beban jika terjadi kegagalan, dan pengukur aliran dapat membaca nilai leleh (arus) lelehan. Nilai kekuatan adalah nilai cek dial yang digandakan dengan nilai test ring alignment dan diperbaiki dengan nomor rektifikasi karena penyimpangan level benda uji. (Banurea, 2020) Skor kemantapan DUT diperoleh dari pembacaan solidness clock selama pengujian dengan instrumen Marshall. Setelah itu, verifikasi nilai pound dari pengaturan cincin uji atau kilogram, kemudian disesuaikan dengan ketebalan benda uji dengan menggunakan faktor koreksi. Rumus untuk menentukan nilai stabilitas adalah sebagai berikut:

$$S = p \times q \dots\dots\dots (2.10)$$

- Keterangan :
- S : Nilai Stabilitas (kg)
- P : Pembacaan arloji satbilitas x kalibrasi alat
- Q : angka korelasi tebal benda uji

Tabel 2.5 Faktor koreksi stabilitas

Isi	Tebal Benda Uji	Angka Koreksi
200-213	25.4	5.56
214-225	27	5.00
226-237	28.6	4.55
238-250	30.2	4.17
251-264	31.8	3.85
265-276	33.3	3.57
277-289	34.9	3.33
290-301	35.5	3.03
302-316	38.1	2.78
317-328	39.7	2.5
329-340	41.3	2.27
341-353	42.9	2.08
354-367	44.4	1.92
368-379	46	1.79
380-392	47.6	1.67
393-405	49.2	1.56
406-420	50.8	1.47
421-431	52.4	1.39
432-443	54	1.32
444-456	55.6	1.25
457-470	57.2	1.19
471-482	58.7	1.14
483-495	60.3	1.09
496-508	61.9	1.04
509-522	63.5	1.00
523-535	65.1	0.96
536-546	66.7	0.93
547-559	68.3	0.89
560-573	69.9	0.86
574-585	71.4	0.83
586-598	73	0.81
599-610	74.6	0.78
611-625	76.2	0.76

(sumber : SNI 06-2489-1991)

2.9 Marshall Quotient (MQ)

Nilai MQ menunjukkan properti soliditas komposit lebih cenderung mudah pecah jika nilai MQ terlalu tinggi. Sebaliknya, nilai MQ yang terlalu rendah menyebabkan karet

menjadi kurang stabil dan terlalu lentur. Menurut standar jalan, kadar aspal yang optimal dalam hal miscibility dapat ditentukan dari hasil yang diperoleh. Dalam merencanakan kombinasi black-top yang ideal, ia harus memenuhi prasyarat kemantapan tinggi, kemampuan beradaptasi rendah, rongga kecil, dan rongga kecil dalam campuran. Koefisien Marshall adalah hubungan antara kemantapan dan aliran. Menurut persyaratan jalan dari tahun 2010, faktor *Marshall* yang harus digunakan lebih besar dari 250 kg/mm. (Banurea, 2020).

Nilai *marshall quotient* didapatkan dengan memperhatikan persamaan berikut:

$$MQ = S / F \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

F : Nilai *flow* (mm)

S : Nilai stabilitas (kg)

MQ : Nilai *marshall quotient* (kg/mm)

2.10 Penelitian Terdahulu yang sejenis

Penelitian ini juga menyajikan penelitian yang sudah dilakukan mengenai limbah plastik LDPE yang digunakan menjadi campuran kursus bantalan aspal.

Tabel 2.6 Penelitian Terdahulu

No	Nama	Judul	Variabel	Hasil
1	Birahmatika Afriyanto, Eva Wahyu Indriati, Probo Handini (2018)	“Analisis Variasi kadar Limbah Plastik LDPE dalam aspal modifikasi terhadap karakteristik dasar aspal”	Limbah plastik LDPE untuk kombinasi aspal dengan variasi bahan plastik 0%, 2%, 4%, dan 6%	Titik lembek, penetrasi, titik nyala, titik bakar, berat jenis, daya tahan, dan viskositas aspal semuanya dapat diubah menggunakan plastik LDPE dalam modifikasi aspal.

2	Alida Danar Saputra, Anissa Noor Tajudin (2021)	“Analisis Kemampuan Self Hiling pada lapis Aspal Beton dengan limbah bubutan Baja sebagai Bahan Tambah”	limbah bubutan baja digunakan untuk mengevaluasi kemampuan self healing campuran Ac-Wc dengan variasi kadar bubutan baja sebesar 0%, 0,25%, 0,5%, 0,75%, dan 1%, serta kadar aspal sebesar 5,5%.	Sampel dapat melakukan self-healing pada kandungan campuran bubut baja 0%, tetapi hasilnya lebih rendah daripada yang diperoleh ketika berbagai bahan tambahan dicampur dengan Serat Baja (0,25%, 0,5%, 0,75%, dan 1 %, masing-masing).
3	Ilham Yunus, Maryam Hafram, Andi Alifuddin (2021)	“Analisis Campuran (AC-WC Asb) Menggunakan Plastik Tipe LDPE Sebagai Bahan Tambah”	Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak dari variasi substitusi Asbuton B50/30 dan plastik LDPE pada aspal pen. 60/70 terhadap sifat kuat tarik dan ketahanan deformasi campuran aspal beton-wearing course (AC-WC).	Kuat tarik maksimum campuran Ac-Wc Varian 3 (2,3% Asbuton B 50/30 dan 0,3% plastik LDPE) adalah 98.625,50 Kpa. Varian 3 (2,3% Asbuton B 50/30 dan 0,3% plastik LDPE) menunjukkan ketahanan terbaik terhadap deformasi campuran Ac-Wc.

4	Nopolion Eka Putra, Elsa Eka Putri, Purnawan (2022)	“Durabilitas Campuran Laston Ac-Wc disubstitusi dengan campuran Limbah Plastik LDPE, PP, PS”	Pengaruh air terhadap stabilitas campuran Ac-Wc yang disubstitusi menggunakan kolaborasi campuran limbah plastik (40% LDPE, 30% PP, 30% PS) sebagai pengganti aspal, dengan metode pencampuran kering. Variasi yang digunakan adalah 0%, 8%, 10%, 12%, 14% terhadap berat aspal.	Kolaborasi campuran LDPE, PP, PS pada campuran laston Ac-Wc semakin meningkat nilai stabilitas marshall. Pada kadar aspal optimum 6,3% dengan penambahan 10% LDPE, PP, PS menghasilkan nilai stabilitas tertinggi dan nilai MQ, VIM, VFB, VMA yang masih batas toleransi.
5	Bustamin Abdul Razak, Andi Erdiansa (2016)	“Karakteristik Campuran Ac- Wc dengan Penambahan LDPE”	Pada penelitian ini digunakan 5 variasi kadar plastik yaitu 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% untuk mengetahui karakteristik Ac-Wc.	Penambahan LDPE pada campuran Ac-Wc dapat menambah nilai volumetrik campuran Ac-Wc dimana nilai VIM dan VMA mengalami penurunan, sedangkan pada nilai VFB mengalami kenaikan.

6	Ziaul Haqqi Khomaeni (2018)	“Analisa Pengaruh penambahan LDPE sebagai campuran Aspal terhadap kuat Aspal dengan menggunakan <i>Marshal Test</i> ”	Ukuran sampel dan persentase LDPE (<i>low density polyethylene</i>) yang ditambahkan bervariasi untuk penelitian ini. Skala batas tengah dan skala batas atas adalah dua kelompok sampel untuk penambahan LDPE.	Nilai sampel kelompok I dan kelompok II memenuhi persyaratan aspal jalan raya. Kisaran Konten: 5,99 % hingga 6,49 % LDPE ditambahkan ke campuran Ac-Wc pada konsentrasi 0%, 20%, dan 40%. Dalam penelitian ini, perubahan parameter <i>Marshall</i> diamati.
7	Cempana Sari Iskandar (2021)	“Kinerja Campuran Beton Aspal Ac-Wc dengan Penambahan Limbah Botol Plastik”	Variasi proporsi campuran sampah plastik berkisar antara 0 sampai 2,5% dari berat agregat, dan aspal berkisar antara 5,5 sampai 7,5% dari berat agregat.	Evaluasi kinerja campuran aspal Ac-Wc dengan menambahkan limbah botol plastik. Metode <i>Marshall</i> digunakan sebagai metode pengujian untuk uji laboratorium berdasarkan peraturan konstruksi jalan umum untuk jalan utama.

Dari penelitian-penelitian diatas maka penelitian yang berjudul tentang Pengujian Marshall pada material penyusun Ac-Wc dengan tambahan LDPE dan Serat Baja Dramix belum pernah dilakukan dan bersifat original.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendekatan

Sistem yang digunakan dalam pencampuran aspal panas Ac-Wc mengindikasikan pelaksanaan penelitian ini di Laboratorium Perkerasan Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Agregat (pengisi, halus dan kasar), aspal, dan campuran (uji *Marshall*) semuanya menjalani berbagai pengujian dalam penelitian ini. Metode *Marshall* digunakan sebagai tester campuran. Hasil pengujian *Marshall* didapatkan berupa komponen-komponen *Marshall* yaitu berat volume benda uji, nilai kestabilan, flow, VIM, VMA, VFB dan nilai ketebalan selimut atau film aspal. Hasil bagi *Marshall* kemudian dapat dihitung. Penyerapan air dan berat jenis adalah dua aspek pengujian agregat.

3.2 Alat dan Bahan Pengujian

Berbagai bahan dan alat yang di perlukan yaitu:

- 1) Bahan material:
 - Agregat kasar
 - Agregat halus berupa pasir dan abu batu
 - Aspal menggunakan aspal PEN 60/70
 - *Filler*
 - LDPE dan Serat Baja Dramix

- 2) Peralatan:

- a. Alat uji pemeriksaan aspal.

Instrumen yang digunakan untuk menguji aspal meliputi perangkat pengukur berat jenis (timbangan dan piknometer), perangkat pengukur penetrasi, perangkat pengukur titik lembek, perangkat pengukur titik nyala, perangkat pengukur daktilitas, dan perangkat pengukur kelarutan.

b. Alat uji pemeriksaan agregat

Berbagai perangkat uji yang digunakan untuk menguji agregat meliputi mesin uji keausan, saringan baku, perangkat uji gradasi, perangkat pengering (oven), timbangan massa, dan alat uji densitas (pemanas, timbangan, piknometer).

c. Alat uji karakteristik campuran agregat aspal

Peralatan yang digunakan dalam langkah ini yaitu alat untuk metode *Marshall*.

3.3 Keperluan dan Analisis Data

Analisa data dijalankan sesudah penyelesaian seluruh tahap, termasuk uji karakteristik marshall campuran dan sifat bahan.

3.3.1 Keperluan Data

Kebutuhan data mencakup sajian informasi mengenai cirrkhas campuran dan sifat bahan marshall hasil pengujian yang sudah dijalankan. Proses uji ini bertujuan sebagai dasar untuk menganalisa data yang dihasilkan dari uji tersebut, khususnya dalam menentukan cirrikhas marshall pada campuran beton aspal.

3.3.2 Analisis Data

Seluruh data pengujian dianalisa demi mengevaluasi dampak pengujian, termasuk dengan menentukan cirrikhas Marshall, pada jenis campuran aspal beton.

3.4 Variasi LDPE dan Serat Baja Dramix

Pada varian LDPE ini digunakan persentase yang kerap digunakan dalam penelitian sebelumnya yaitu 2%, 4%, dan 6%. Sedangkan varian Serat Baja Dramix menggunakan persentase yang telah dinegosiasikan dengan dosen yaitu 1%, 2% dan 3%, karena Dramix tersebut biasanya dicampur dengan perkerasan beton maka dari itu penelitian ini memang benar-benar baru dimana serat tersebut dicampur dengan aspal.

3.5 Rancangan Campuran

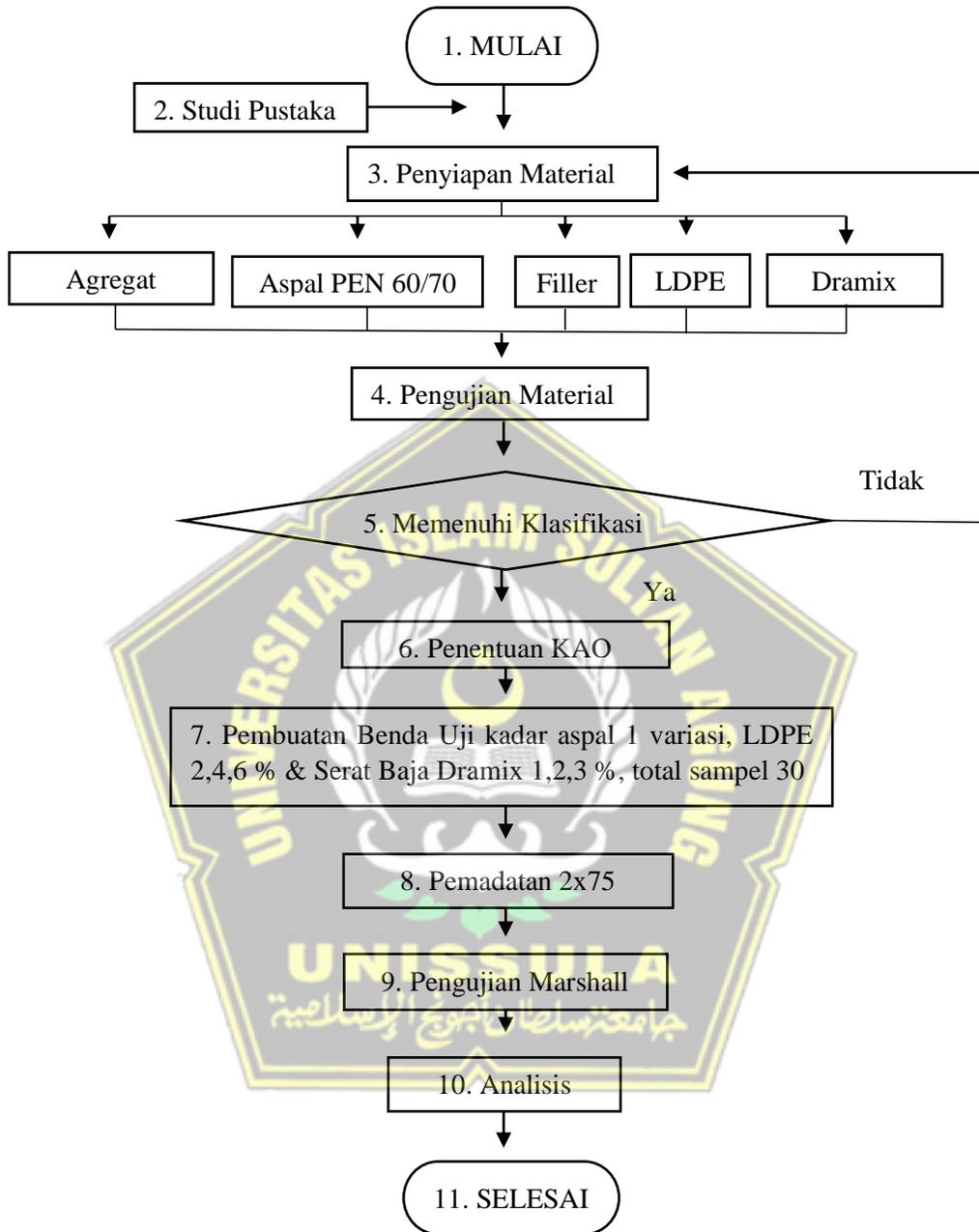
Siapkan benda uji *Marshall* dan ikutilah langkah berikut setelah melakukan penentuan kadar aspal 5,8 % yang ditujukan untuk campuran beton aspal Ac-Wc sebagai berikut:

1. Dilihat dari kadar aspal yang digunakan ditetapkan 5,8 %, jenis aspal pertamina 60/70. Setelah itu dilakukan uji Marshall standar dengan 75 tumbukan pada kedua sisi benda uji. Pengujian durabilitas demi mengetahui densitas, MQ, stabilitas, aliran, VIM, VMA, dan VFB. Dari hubungan antara 5,8% zat aspal, total zat masih berada di udara.
2. Setelah ditentukan kadar aspal sebelumnya 5,8% untuk setiap komposisi sampai dengan 30 benda uji, maka komposisi benda uji divariasikan. Secara bersamaan, semua total yang dicampur telah diukur, setiap variasi campuran ditempatkan dalam cangkir dan diisolasi berdasarkan variasi. Setelah itu, adonan tersebut dipanggang pada suhu 160°C selama minimal empat jam. Setelah itu, adonan dikeluarkan dari oven, dan penantian dilanjutkan hingga bobotnya tersisa. Kemudian ukur total dalam cangkir dan hitung berat gasing hitam dari zat gasing hitam sebesar 5,8%. Setelah menghitung berat aspal, kosongkan aspal ke dalam kombinasi total sesuai perhitungan bahan aspal sebesar 5,8%. Setelah bagian atas hitam terisi penuh, kemudian aduk campuran tersebut hingga merata dan panaskan di atas oven rebusan kacang, lanjutkan mengaduknya hingga semuanya benar-benar gelap. Ketika semuanya sudah cukup gelap, maka tuangkan LDPE dengan kadar yang telah ditentukan yaitu 2%, 4%, dan 6%, dan Serat Baja Dramix, yaitu 1%, 2%, dan 3%, lalu, pada saat itu, campur lagi sampai merata. Setelah semuanya tercampur rata, lalu dibentuk dan kemudian ditumbuk sebanyak 2x75 tumbukan. Pengujian Marshall dilakukan demi mengetahui nilai VMA, VIM, Flow, stabilitas, VFB, dan densitas setelah benda uji dicetak. Perendaman dalam air yang naik dengan variasi dalam waktu basah untuk menentukan dampak pasang surut pada atap hitam Ac-Wc yang disesuaikan dengan perluasan LDPE dan Serat Baja Dramix.

3.6 Tahap Pengujian *marshall*

1. Keringkan campuran agregat hingga berat tetap pada suhu 145°C, penimbangan agregat sesuai perhitungan persentase pada target gradasi yang dikehendaki untuk setiap variasi dengan berat kurang lebih 1200 gram untuk diameter 4 inchi.
2. Setelah menentukan jumlah aspal yang akan dimasukkan ke dalam campuran agregat, timbang aspal tersebut.
3. Pencampuran terjadi di atas pemanas dan diaduk secara merata sampai lapisan aspal tercampur rata dalam agregat pada viskositas kinematis. Ini menjaga campuran agregat dan aspal pada suhu yang sama.
4. Setelah diblender secara merata pada suhu 145°C, adonan dimasukkan ke dalam cetakan. Sebelumnya, letakkan kertas saring atau karton di bawah cetakan, lalu gunakan spatula untuk memukulnya sebanyak 25 kali, 15 kali di tepi dan 10 kali di tengah. Sekali lagi, tutupi dengan kertas di atasnya.
5. Pemadatan manual dengan total 75 tumbukan pada sisi atas digunakan untuk memadatkan material. Proses tersebut kemudian dibalik dan ditumbuk dengan volume yang sama sebanyak 75 kali tumbukan.
6. Sesudah benda uji dipadatkan, didiamkan agar suhunya berangsur-angsur turun. Benda uji kemudian dikeluarkan menggunakan ejector, dan setiap benda uji diberi kode atau nama berdasarkan variasinya.
7. Ketebalan rata-rata benda uji ditentukan dengan mengukur ketebalannya sepanjang empat sisi sejajar. Dan menentukan berat sampel kering dengan cara menimbang masing-masing benda uji.
8. Benda uji kemudian direndam dalam air hingga menghasilkan gelembung dari udara yang terperangkap di dalam pori-porinya. Benda uji direndam selama 15 atau 20 menit sampai gelembung pada pori-pori benda hilang.
9. Sesudah perencanaan dilanjutkan dengan menimbang ketika di air demi memperoleh berat sampel didalam air.
10. Benda uji kemudian dilakukan penengringan dengan handuk pada permukaannya dan selanjutnya ditimbang demi memperoleh berat contoh.
11. Kemudian rendam benda uji selama 30 menit pada suhu 61°C.

3.7 Tahapan penelitian



Gambar 3.1 Bagan Alur Penelitian

3.8 Metode Analisis

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen di laboratorium. Keseluruhan proses penelitian dilakukan dalam 8 langkah berikut :

Tahap I : Studi Pustaka adalah langkah yang berhubungan dengan teknik dalam kodifikasi data di perpustakaan, mempersiapkan bahan penelitian dan melakukan pengolahan.

Tahap II : Persiapan, langkah ini dilakukan dengan merujuk pada aktivitas berikut:

1. Mempersiapkan bahan mulai dari aspal, agregat dan lainnya.
2. Mempersiapkan alat yang digunakan.
3. Mempersiapkan berbagai form pengujian dan melakukan pengolahan hasil pengujian

Tahap III : Pemeriksaan bahan

1. Pemeriksaan mengenai agregat:
 1. Memeriksa berat jenis dan penyerapan agregat halus dan kasar
 2. Memeriksa analisis saringan agregat halus dan kasar.
 3. Memeriksa berat jenis aspal.
 4. Memeriksa penetrasi
 5. Memeriksa titik bakar, nyala dan lembek
 6. Memeriksa material filler
 7. Memeriksa campuran yang digunakan yaitu LDPE dan Dramix.

Tahap IV : Penentuan KAO (Kadar Aspal Optimum) sesuai yang telah ditetapkan

Tahap V : Pembuatan benda uji dengan 3 benda uji dari variasi kadar LDPE dan Serat Baja Drimix.

Tahap VI : Kemudian Pemadatan dan Penumbukan sebanyak 2 x 75 setiap sampel

Tahap VII : Kemudian dilakukan pengujian dan analisa Marshall untuk mengetahui stabilitas Marshall, Flow (kelelahan Plastis), Rongga dalam campuran, Rongga dalam mineral dan Stabilitas Marshall sisa.

Tahap VIII : Analisis data dari hasil uji Marshall yang telah dilakukan dan setelah itu tergambar sebuah kesimpulan dan saran dari pengujian dilaboratorium ini.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sifat - Sifat Campuran Aspal Panas dengan Metode Marshall

Hasil pengujian campuran aspal panas menggunakan metode Marshall menunjukkan bahwa kadar aspal yang paling baik adalah 5,8%. Stabilitas campuran setelah dicelupkan dalam air panas selama 24 jam pada suhu 60° C dihitung dengan rasio 1001:1078 dan diperoleh persentase stabilitas 92,05%. Dapat dilihat pada tabel 4.1.

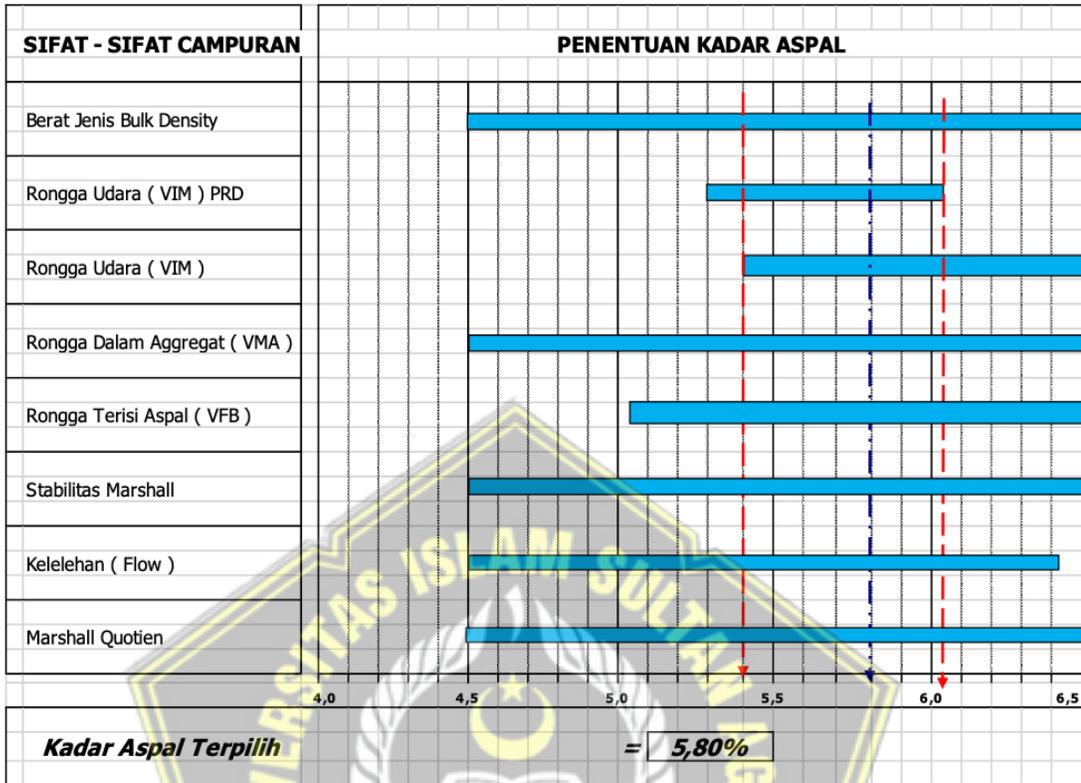
Tabel 4.1 (SNI.06-2489-1991 / AASHTO T.245-90)

BJ Aspal : 1,034			Gse : 2,665		Gsb : 2,656		Penyerapan (Abs) : 0,136					
No	Kadar Aspal	Berat diudara	Berat dlm air	Berat sad	Volume	Bj. Bulk	VMA	VIM	VFB	Stabilitas	Flow	MQ
1		1180,2	679,7	1184,9	505,2	2,336				1096	3,20	
2		1181,3	679,7	1185,1	505,4	2,337				1074	3,50	
3		1181,0	680,2	1186,0	505,8	2,335				1140	3,30	
rata-rata: 5,82						2,336	17,16	4,71	72,55	1103	3,33	331,0
1		1182,3	680,6	1186,7	506,1	2,336				1008	3,30	
2		1181,2	680,3	1186,2	505,9	2,335				1030	3,20	
3		1180,0	679,0	1186,0	505,6	2,334				1008	3,20	
rata-rata: 5,82						2,335	17,20	4,76	72,33	1016	3,23	314,1
STABILITAS TERSISA SETELAH PERENDAMAN 24 JAM SUHU 60° C = (1016 : 1103) x 100 = 92,05%												

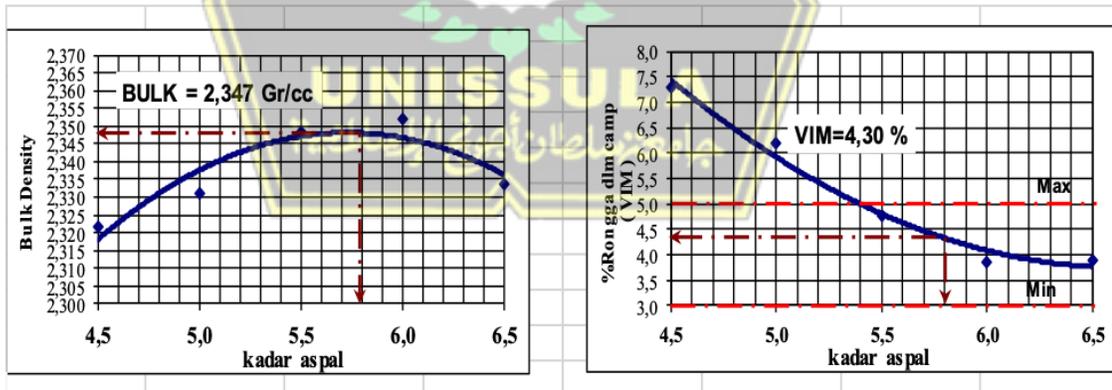
Hasil analisis campuran aspal panas menggunakan metode *Marshall* menunjukkan bahwa kadar aspal yang optimal untuk modifier adalah 5,8%. Stabilitas campuran setelah dicelupkan dalam air panas selama 24 jam pada suhu 60° C dihitung dengan rasio (1016:1103) x 100 dan diperoleh persentase stabilitas 92,05%.

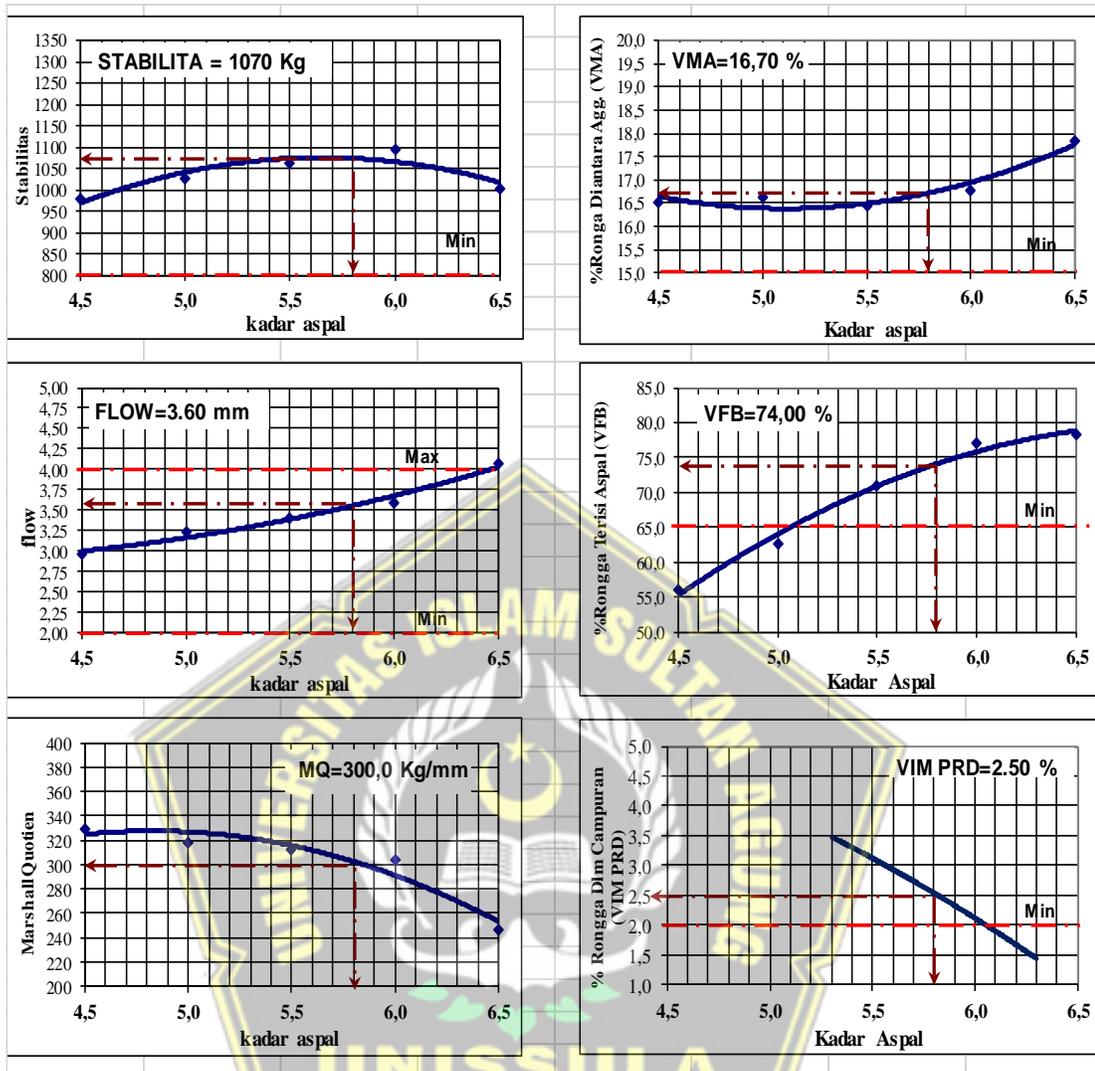
Untuk menentukan kadar aspal yang sesuai, dilakukan variasi kadar aspal 4, 4,5, 5, 5,5, dan 6. Kemudian dipilih kadar aspal yang terbaik dari 5 variasi tersebut dan digunakan untuk menguji 15 benda uji dengan menggunakan masing-masing 3 variasi kadar aspal.

4.1.1 Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum



Grafik rekapitulasi Sifat Campuran aspal batas atas dan batas menunjukkan bahwasanya Kadar Aspal Optimum adalah 5,8%.





Grafik 4.1 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Grafik diatas dapat disimpulkan bahwa hasil dari Bulk Density, VIM, VMA, Stabilitas, VMA, VFB, FLOW, MQ, dan VIM PRD memiliki hasil kadar aspal optimum sebesar 5,8%.

4.2 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)

Aspal yang dirancang memiliki komposisi LDPE dengan kadar 2%, 4%, dan 6% sedangkan Serat Baja Dramix dengan kadar 1%, 2%, dan 3%.

Tabel 4.2 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) LDPE 2% dan Dramix 1%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40	480 g
2	Agg Batu ½	25	300 g
3	Agg Batu ¾	25	300 g
4	Aspal	5,8	69,6 g
5	Pasir	3	36 g
6	Filler	1,2	14,4 g
Total		100	1200
7	LDPE	2	1,39 g
8	Dramix	1	0,69 g

Tabel 4.3 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) LDPE 2% dan Dramix 2%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40	480 g
2	Agg Batu ½	25	300 g
3	Agg Batu ¾	25	300 g
4	Aspal	5,8	69,6 g
5	Pasir	3	36 g
6	Filler	1,2	14,4 g
Total		100	1200
7	LDPE	2	1,39 g
8	Dramix	2	1,39 g

Tabel 4.4 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) LDPE 2% dan Dramix 3%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40	480 g
2	Agg Batu ½	25	300 g
3	Agg Batu ¾	25	300 g
4	Aspal	5,8	69,6 g
5	Pasir	3	36 g
6	Filler	1,2	14,4 g
Total		100	1200
7	LDPE	2	1,39 g
8	Dramix	3	2,08 g

Tabel 4.5 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) LDPE 4% dan Dramix 1%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40	480 g
2	Agg Batu ½	25	300 g
3	Agg Batu ¾	25	300 g
4	Aspal	5,8	69,6 g
5	Pasir	3	36 g
6	Filler	1,2	14,4 g
Total		100	1200
7	LDPE	4	2,78 g
8	Dramix	1	0,69 g

Tabel 4.6 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) LDPE 4% dan Dramix 2%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40	480 g
2	Agg Batu ½	25	300 g
3	Agg Batu ¾	25	300 g
4	Aspal	5,8	69,6 g
5	Pasir	3	36 g
6	Filler	1,2	14,4 g
Total		100	1200
7	LDPE	4	2,78 g
8	Dramix	2	1,39 g

Tabel 4.7 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) LDPE 4% dan Dramix 3%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40	480 g
2	Agg Batu ½	25	300 g
3	Agg Batu ¾	25	300 g
4	Aspal	5,8	69,6 g
5	Pasir	3	36 g
6	Filler	1,2	14,4 g
Total		100	1200
7	LDPE	4	2,78 g
8	Dramix	3	2,08 g

Tabel 4.8 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) LDPE 6% dan Dramix 1%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40	480 g
2	Agg Batu ½	25	300 g
3	Agg Batu ¾	25	300 g
4	Aspal	5,8	69,6 g
5	Pasir	3	36 g
6	Filler	1,2	14,4 g
Total		100	1200
7	LDPE	6	4,17 g
8	Dramix	1	0,69 g

Tabel 4.9 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) LDPE 6% dan Dramix 2%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40	480 g
2	Agg Batu ½	25	300 g
3	Agg Batu ¾	25	300 g
4	Aspal	5,8	69,6 g
5	Pasir	3	36 g
6	Filler	1,2	14,4 g
Total		100	1200
7	LDPE	6	4,17 g
8	Dramix	2	1,39 g

Tabel 4.10 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) LDPE 6% dan Dramix 3%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40	480 g
2	Agg Batu ½	25	300 g
3	Agg Batu ¾	25	300 g
4	Aspal	5,8	69,6 g
5	Pasir	3	36 g
6	Filler	1,2	14,4 g
Total		100	1200
7	LDPE	6	4,17 g
8	Dramix	3	2,08 g

4.3 Hasil Pengujian Bahan Aspal Polimer (JAP 57)

Aspal polimer yang dipakai pada hasil pemeriksaan penelitian yaitu aspal polimer JAP 57 (Aspal Dagang Jaya). Ada empat parameter yang diuji untuk aspal polimer ini: penetrasi, keuletan, titik nyala, dan titik lembek. Aspal yang dipakai kedalam campuran perkerasan lentur mempunyai parameter ini sebagai karakteristik utamanya.

Pengujian aspal memiliki hasil yang disajikan dalam Tabel 4.11. dengan membandingkan hasil dengan memanfaatkan Spesifikasi Pemeriksaan Jalan No. 01/MN/BM/1976 Perhubungan sebagai berikut:

Tabel 4.11 Pengujian Aspal JAP 57 (Jaya Aspal Polymer)

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Spesifikasi Aspal JAP57		Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi
			Min	Max		
1	Penetrasi 25°C, 100 g, 5 detik	0,1 Mm	50	80	55,9	SNI-06-2456-1991
2	Titik Lembek 5°C (Ring and Ball Test)	°C	54	-	56,65	SNI-06-2434-1991
3	Titik Nyala (Cleaveland Open Cup)	°C	232	-	351,5	SNI-06-2433-1991
4	Kelarutan dalam CCl4	%	99	-	99,93	SNI-06-2438-1991
5	Daktalitas	Cm	50	-	>150	SNI-06-2432-1991
6	Penetrasi setelah Kehilangan Berat	%	54	-	61,90	SNI-06-2440-1991
7	Viskositas Kinematis suhu 135°C	Cst	-	3000	1365,5	AASHTO T316-13
B	RTFOT					
1	Kehilangan Berat(RTFOT)	%	-	0,8	0,051	SNI-06-2440-1991
2	Penetrasi 25°C setelahRTFOT	%	54	-	61,90	SNI 2465 ; 2011
3	Daktalitas setelahRTFOT	Cm	50	-	110,33	SNI 06-2432-1991
4	Elastis Recovery setelah RTFOT	%	-	-	70	AASTHO T-301-98
5	DSR (RTFOT) Fail Temperature	°C	70	-	70,10	AASTHO T-315-12
C	PAV					
1	DSR PAV @5000 kPa Fail Temperature	°C	-	31	22,70	AASTHO T-315-12

4.4 Pembuatan Benda Uji

Proses pembuatan benda uji, kadar aspal yang dipakai yaitu 5,8% dan kadar campuran yang akan digunakan adalah LDPE dengan berbagai variasi yaitu 2%, 4%, 6% dan Serat Baja Dramix yaitu 1%, 2%, 3%. Setiap variasi kadar LDPE dan Serat Baja Dramix akan dihasilkan 3 buah benda uji, dimana jumlah benda uji yang dihasilkan adalah 30 sampel.

Tabel 4.12 Benda Uji Untuk Analisa Kadar Aspal Optimum

No	Kode Benda Uji	Persentase Kadar Aspal	Jumlah Benda Uji
1	KAO – 1	4%	3
2	KAO – 2	4,5%	3
3	KAO – 3	5%	3
4	KAO – 4	5,5%	3
5	KAO – 5	6%	3

Tabel 4.13 Benda Uji Campuran LDPE dan Dramix

No	Kode Benda Uji	Persentase LDPE	Persentase Dramix	Jumlah Benda Uji
1	BU – 1	0%	0%	1
2	BU – 2	0%	0%	1
3	BU – 3	0%	0%	1
4	BU – 4	2%	1%	1
5	BU – 5	2%	1%	1
6	BU – 6	2%	1%	1
7	BU – 7	2%	2%	1
8	BU – 8	2%	2%	1
9	BU – 9	2%	2%	1
10	BU – 10	2%	3%	1
11	BU – 11	2%	3%	1
12	BU – 12	2%	3%	1
13	BU – 13	4%	1%	1
14	BU – 14	4%	1%	1
15	BU – 15	4%	1%	1
16	BU – 16	4%	2%	1
17	BU – 17	4%	2%	1
18	BU – 18	4%	2%	1
19	BU – 19	4%	3%	1
20	BU – 20	4%	3%	1
21	BU – 21	4%	3%	1
22	BU – 22	6%	1%	1
23	BU – 23	6%	1%	1
24	BU – 24	6%	1%	1
25	BU – 25	6%	2%	1
26	BU – 26	6%	2%	1
27	BU – 27	6%	2%	1
28	BU – 28	6%	3%	1
29	BU – 29	6%	3%	1
30	BU – 30	6%	3%	1



Gambar 4.1 Sampel Benda Uji

Masing – masing benda uji yaitu 3 buah benda uji untuk perbandingan masing- masing benda uji dimana jika salah satu benda uji ada yang tidak sesuai dengan spesifikasi teknik Bina Marga tahun 2018 divisi 6 revisi 2 dan 2 benda uji lainnya sesuai spesifikasi tersebut maka benda uji dapat dibandingkan hasilnya.

4.5 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test

4.5.1 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test Aspal Normal

Hasil pengujian aspal menggunakan alat *Marshall Test* tanpa bahan campuran.

Tabel 4.14 Rekap Hasil Pengujian *Marshall* Aspal Normal

Uraian Aspal Normal	Kode Benda Uji			Spesifikasi	Memenuhi/Tidak Memenuhi
	BU - 1	BU - 2	BU - 3		
VIM	4,49	3,95	4,58	3.0 – 5.0 %	Memenuhi
VMA	34,93	34,56	34,99	Min 15 %	Memenuhi
VFB	87,15	88,58	86,90	Min 65 %	Memenuhi
Stabilitas	1079,87	1070,05	1001,33	Min 800 kg	Memenuhi
Flow	2,60	2,60	2,90	2.0 – 4.0	Memenuhi
MQ	415,33	411,56	345,29	-	Memenuhi

Sumber: Hasil Penelitian di Laboratorium Perkerasan Jalan Unissula (2023)

Hasil Pengujian *Marshall* Aspal Tanpa Campuran memenuhi persyaratan selatas dengan standarisasi Bina Marga tahun 2018 Divisi 6 Revisi 2. Pada perbandingan tersebut bahwa untuk aspal normal dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dikarenakan memenuhi semua spesifikasi yang selaras dengan standarisasi Teknis Bina Marga tahun 2018 Divisi 6 Revisi 2.

4.5.2 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode *Marshall Test* # LDPE 2% dan Serat Baja Dramix 1%.

Hasil pengujian aspal menggunakan alat *Marshall Test* dengan campuran LDPE 2% dan Dramix 1%.

Tabel 4.15 Rekap Hasil Pengujian *Marshall* LDPE 2% & Dramix 1%

Uraian LDPE 2% & Dramix 1%	Kode Benda Uji			Spesifikasi	Memenuhi/Tidak Memenuhi
	BU - 4	BU - 5	BU - 6		
VIM	4,56	4,03	4,49	3.0 – 5.0 %	Memenuhi
VMA	35,12	34,75	35,07	Min 15 %	Memenuhi
VFB	87,01	88,41	87,19	Min 65 %	Memenuhi
Stabilitas	1099,50	1109,32	1128,96	Min 800 kg	Memenuhi
Flow	2,80	2,70	2,90	2.0 – 4.0	Memenuhi
MQ	392,68	410,86	389,29	-	Memenuhi

Sumber: Hasil Penelitian di Laboratorium Perkerasan Jalan Unissula (2023)

Hasil Pengujian *Marshall* dengan kombinasi campuran LDPE 2% dan Serat Baja Dramix 1% memenuhi persyaratan selaras dengan standarisasi Bina Marga tahun 2018 Divisi 6 Revisi 2. Pada perbandingan LDPE 2% dan Dramix 1% ini dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dikarenakan memenuhi semua spesifikasi yang sesuai.

4.5.3 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test # LDPE 2% dan Serat Baja Dramix 2%.

Hasil pengujian aspal menggunakan alat *Marshall Test* dengan campuran LDPE 2% dan Dramix 2%.

Tabel 4.16 Rekap Hasil Pengujian *Marshall* LDPE 2% & Dramix 2%

Uraian LDPE 2% & Dramix 2%	Kode Benda Uji			Spesifikasi	Memenuhi/Tidak Memenuhi
	BU - 7	BU - 8	BU - 9		
VIM	4,63	5,13	5,01	3.0 – 5.0 %	Tidak Memenuhi
VMA	35,16	35,50	35,42	Min 15 %	Memenuhi
VFB	86,82	85,56	85,85	Min 65 %	Memenuhi
Stabilitas	883,53	962,07	991,52	Min 800 kg	Memenuhi
Flow	2,40	2,70	2,90	2.0 – 4.0	Memenuhi
MQ	368,14	356,32	341,90	-	Memenuhi

Sumber: Hasil Penelitian di Laboratorium Perkerasan Jalan Unissula (2023)

Hasil Pengujian *Marshall* dengan kombinasi campuran LDPE 2% dan Serat Baja Dramix 2% tidak memenuhi persyaratan selaras dengan standarisasi Bina Marga tahun 2018 Divisi 6 Revisi 2. Pada perbandingan LDPE 2% dan Dramix 2% memiliki nilai VIM lebih dari 3-5%, maka komposisi ini tidak dapat digunakan dalam perkerasan jalan dikarenakan tidak memenuhi persyaratan.

4.5.4 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test # LDPE 2% dan Serat Baja Dramix 3%.

Hasil pengujian aspal menggunakan alat *Marshall Test* dengan campuran LDPE 2% dan Dramix 3%.

Tabel 4.17 Rekap Hasil Pengujian *Marshall* LDPE 2% & Dramix 3%

Uraian LDPE 2% & Dramix 3%	Sifat Pengujian			Spesifikasi	Memenuhi/Tidak Memenuhi
	BU - 10	BU - 11	BU - 12		
VIM	4,51	3,83	5,74	3.0 – 5.0 %	Tidak Memenuhi
VMA	35,08	34,62	35,92	Min 15 %	Memenuhi
VFB	87,13	88,94	84,01	Min 65 %	Memenuhi
Stabilitas	804,99	824,63	834,45	Min 800 kg	Memenuhi
Flow	2,10	2,30	2,40	2.0 – 4.0	Memenuhi
MQ	383,33	358,53	347,69	-	Memenuhi

Sumber: Hasil Penelitian di Laboratorium Perkerasan Jalan Unissula (2023)

Hasil Pengujian *Marshall* dengan kombinasi campuran LDPE 2% dan Serat Baja Dramix 3% tidak memenuhi persyaratan selaras dengan standarisasi Bina Marga tahun 2018 Divisi 6 Revisi 2. Pada perbandingan LDPE 2% dan Dramix 3% memiliki nilai VIM lebih dari 3-5%, maka komposisi ini tidak dapat digunakan dalam perkerasan jalan dikarenakan tidak memenuhi persyaratan.

4.5.5 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test # LDPE 4% dan Serat Baja Dramix 1%.

Hasil pengujian aspal menggunakan alat *Marshall Test* dengan campuran LDPE 4% dan Dramix 1%.

Tabel 4.18 Rekap Hasil Pengujian *Marshall* LDPE 4% & Dramix 1%

Uraian LDPE 4% & Dramix 1%	Sifat Pengujian			Spesifikasi	Memenuhi/Tidak Memenuhi
	BU - 13	BU - 14	BU - 15		
VIM	5,96	4,26	5,26	3.0 – 5.0 %	Tidak Memenuhi
VMA	36,07	34,91	35,59	Min 15 %	Memenuhi
VFB	83,47	87,78	85,21	Min 65 %	Memenuhi
Stabilitas	818,81	814,81	854,08	Min 800 kg	Memenuhi
Flow	2,10	2,30	2,30	2.0 – 4.0	Memenuhi
MQ	388,01	354,27	371,34	-	Memenuhi

Sumber: Hasil Penelitian di Laboratorium Perkerasan Jalan Unissula (2023)

Hasil Pengujian *Marshall* dengan kombinasi campuran LDPE 4% dan Serat Baja Dramix 1% tidak memenuhi persyaratan selaras dengan standarisasi Bina Marga tahun 2018 Divisi 6 Revisi 2. Pada perbandingan LDPE 4% dan Dramix 1% memiliki nilai VIM lebih dari 3-5%, maka komposisi ini tidak dapat digunakan dalam perkerasan jalan dikarenakan tidak memenuhi persyaratan.

4.5.6 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test # LDPE 4% dan Serat Baja Dramix 2%.

Hasil pengujian aspal menggunakan alat *Marshall Test* dengan campuran LDPE 4% dan Dramix 2%.

Tabel 4.19 Rekap Hasil Pengujian *Marshall* LDPE 4% & Dramix 2%

Uraian LDPE 4% & Dramix 2%	Sifat Pengujian			Spesifikasi	Memenuhi/Tidak Memenuhi
	BU - 16	BU - 17	BU - 18		
VIM	5,58	0,03	4,74	3.0 – 5.0 %	Tidak Memenuhi
VMA	35,81	32,04	35,23	Min 15 %	Memenuhi
VFB	84,41	99,90	85,56	Min 65 %	Memenuhi
Stabilitas	824,63	844,26	844,26	Min 800 kg	Memenuhi
Flow	2,20	2,30	2,30	2.0 – 4.0	Memenuhi
MQ	374,83	367,07	379,88	-	Memenuhi

Sumber: Hasil Penelitian di Laboratorium Perkerasan Jalan Unissula (2023)

Hasil Pengujian *Marshall* dengan kombinasi campuran LDPE 4% dan Serat Baja Dramix 2% tidak memenuhi persyaratan selaras dengan standarisasi Bina Marga tahun 2018 Divisi 6 Revisi 2. Pada perbandingan LDPE 4% dan Dramix 2% memiliki nilai VIM lebih dan kurang dari 3-5%, maka komposisi ini tidak dapat digunakan dalam perkerasan jalan dikarenakan tidak memenuhi persyaratan.

4.5.7 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test # LDPE 4% dan Serat Baja Dramix 3%.

Hasil pengujian aspal menggunakan alat *Marshall Test* dengan campuran LDPE 4% dan Dramix 2%.

Tabel 4.20 Rekap Hasil Pengujian *Marshall* LDPE 4% & Dramix 3%

Uraian LDPE 4% & Dramix 3%	Sifat Pengujian			Spesifikasi	Memenuhi/Tidak Memenuhi
	BU - 19	BU - 20	BU - 21		
VIM	5,66	4,76	5,65	3.0 – 5.0 %	Tidak Memenuhi
VMA	35,86	35,25	35,86	Min 15 %	Memenuhi
VFB	84,21	86,49	84,24	Min 65 %	Memenuhi
Stabilitas	903,16	932,62	962,07	Min 800 kg	Memenuhi
Flow	2,30	2,40	2,50	2.0 – 4.0	Memenuhi
MQ	392,68	388,90	384,83	-	Memenuhi

Sumber: Hasil Penelitian di Laboratorium Perkerasan Jalan Unissula (2023)

Hasil Pengujian *Marshall* dengan kombinasi campuran LDPE 4% dan Serat Baja Dramix 3% tidak memenuhi persyaratan selaras dengan standarisasi Bina Marga tahun 2018 Divisi 6 Revisi 2. Pada perbandingan LDPE 4% dan Dramix 3% memiliki nilai VIM lebih dari 3-5%, maka komposisi ini tidak dapat digunakan dalam perkerasan jalan dikarenakan tidak memenuhi persyaratan.

4.5.8 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test # LDPE 6% dan Serat Baja Dramix 1%.

Hasil pengujian aspal menggunakan alat *Marshall Test* dengan campuran LDPE 6% dan Dramix 1%.

Tabel 4.21 Rekap Hasil Pengujian *Marshall* LDPE 6% & Dramix 1%

Uraian LDPE 6% & Dramix 1%	Sifat Pengujian			Spesifikasi	Memenuhi/Tidak Memenuhi
	BU - 22	BU - 23	BU - 24		
VIM	5,50	5,51	5,11	3.0 – 5.0 %	Tidak Memenuhi
VMA	35,76	35,76	35,49	Min 15 %	Memenuhi
VFB	84,61	84,58	85,60	Min 65 %	Memenuhi
Stabilitas	775,54	804,99	726,46	Min 800 kg	Tidak Memenuhi
Flow	1,90	2,10	2,40	2.0 – 4.0	Tidak Memenuhi
MQ	408,18	383,33	302,69	-	Memenuhi

Sumber: Hasil Penelitian di Laboratorium Perkerasan Jalan Unissula (2023)

Hasil Pengujian *Marshall* dengan kombinasi campuran LDPE 6% dan Serat Baja Dramix 1% tidak memenuhi persyaratan selaras dengan standarisasi Bina Marga tahun 2018 Divisi 6 Revisi 2. Pada perbandingan LDPE 6% dan Dramix 1% memiliki nilai VIM lebih dari 3-5%, Stabilitas kurang dari 800 kg dan Flow kurang dari 2-4, maka komposisi ini tidak dapat digunakan dalam perkerasan jalan dikarenakan tidak memenuhi persyaratan.

4.5.9 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test # LDPE 6% dan Serat Baja Dramix 2%.

Hasil pengujian aspal menggunakan alat *Marshall Test* dengan campuran LDPE 6% dan Dramix 2%.

Tabel 4.22 Rekap Hasil Pengujian *Marshall* LDPE 6% & Dramix 2%

Uraian LDPE 6% & Dramix 2%	Sifat Pengujian			Spesifikasi	Memenuhi/Tidak Memenuhi
	BU - 25	BU - 26	BU - 27		
VIM	6,13	4,80	6,05	3.0 – 5.0 %	Tidak Memenuhi
VMA	36,18	35,28	36,13	Min 15 %	Memenuhi
VFB	83,06	86,40	83,26	Min 65 %	Memenuhi
Stabilitas	706,82	726,46	755,91	Min 800 kg	Tidak Memenuhi
Flow	1,90	1,80	1,80	2.0 – 4.0	Tidak Memenuhi
MQ	372,01	403,59	419,95	-	Memenuhi

Sumber: Hasil Penelitian di Laboratorium Perkerasan Jalan Unissula (2023)

Hasil Pengujian *Marshall* dengan kombinasi campuran LDPE 6% dan Serat Baja Dramix 2% tidak memenuhi persyaratan selaras dengan standarisasi Bina Marga tahun 2018 Divisi 6 Revisi 2. Pada perbandingan LDPE 6% dan Dramix 2% memiliki nilai VIM lebih dari 3-5%, Stabilitas kurang dari 800 kg dan Flow kurang dari 2-4, maka komposisi ini tidak dapat digunakan dalam perkerasan jalan dikarenakan tidak memenuhi persyaratan.

4.5.10 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test # LDPE 6% dan Serat Baja Dramix 3%.

Hasil pengujian aspal menggunakan alat *Marshall Test* dengan campuran LDPE 6% dan Dramix 3%.

Tabel 4.23 Rekap Hasil Pengujian *Marshall* LDPE 6% & Dramix 3%

Uraian LDPE 6% & Dramix 3%	Sifat Pengujian			Spesifikasi	Memenuhi/Tidak Memenuhi
	BU - 28	BU - 29	BU - 30		
VIM	3,77	4,68	5,64	3.0 – 5.0 %	Tidak Memenuhi
VMA	34,58	35,20	35,85	Min 15 %	Memenuhi
VFB	89,09	86,70	84,26	Min 65 %	Memenuhi
Stabilitas	697,01	716,64	667,56	Min 800 kg	Tidak Memenuhi
Flow	1,90	1,70	1,90	2.0 – 4.0	Tidak Memenuhi
MQ	366,85	421,55	351,35	-	Memenuhi

Sumber: Hasil Penelitian di Laboratorium Perkerasan Jalan Unissula (2023)

Hasil Pengujian *Marshall* dengan kombinasi campuran LDPE 6% dan Serat Baja Dramix 3% tidak memenuhi persyaratan selaras dengan standarisasi Bina Marga tahun 2018 Divisi 6 Revisi 2. Pada perbandingan LDPE 6% dan Dramix 3% memiliki nilai VIM lebih dari 3-5%, Stabilitas kurang dari 800 kg dan Flow kurang dari 2-4, maka komposisi ini tidak dapat digunakan dalam perkerasan jalan dikarenakan tidak memenuhi persyaratan.

4.6 Perbandingan Kadar LDPE dan Dramix pada campuran Aspal

Perbandingan kadar LDPE dan Serat baja Dramix dengan data yang didapat dari praktikum diambil nilai rata rata dari 3 benda uji adalah sebagai berikut:

Tabel 4.24 Perbandingan kadar LDPE dan Dramix

Kriteria	VIM	VMA	VFB	Stabilitas	Flow	MQ
Normal	4,34	34,83	87,54	1.050,42	2,70	389,94
L2D1	4,36	34,98	87,53	1.112,59	2,80	397,35
L2D2	4,92	35,36	86,70	945,70	2,66	355,45
L2D3	4,69	35,20	68,69	821,35	2,26	363,18
L4D1	5,16	35,52	85,48	827,90	2,23	371,20
L4D2	3,45	34,36	90,29	847,53	2,26	373,92
L4D3	5,35	35,65	84,98	932,61	2,40	388,70
L6D1	5,37	35,67	84,93	768,99	2,13	364,73
L6D2	5,66	35,86	84,24	729,73	1,83	379,91
L6D3	4,69	35,21	86,68	693,73	1,83	379,91

Dari tabel diatas campuran LDPE dan Serat Baja Dramix yang dapat digunakan sebagai modifier untuk Ac-Wc yaitu kadar LDPE 2% dan Dramix 1% karena hanya itu yang memenuhi persyaratan sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga tahun 2018 Divisi 6 Revisi 2. Dimana syarat nilai VIM adalah 3.0-5.0%, nilai VMA adalah Min 15%, nilai VFB adalah Min 65%, Nilai Stabilitas adalah Min 800 kg, nilai *Flow* adalah 2.0-4.0, sedangkan nilai MQ tidak terbatas.

Dari penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa Ac-Wc jika ditambahkan dengan kombinasi LDPE 2% dan Dramix 1% maka nilai VIM akan naik, mengakibatkan aspal semakin tertutup rapat, nilai VMA juga mengalami kenaikan mengakibatkan aspal semakin tertutup rapat, lalu nilai VFB turun maka semakin terisi rongga aspal yang porous, nilai Stabilitas naik menjadikan aspal semakin stabil dalam kondisi tekanan beban diatasnya, nilai *Flow* juga mengalami kenaikan maka terjadilah kelelahan pada aspal akibat menahan beban diatasnya, dan nilai MQ juga mengalami kenaikan akibatnya menjadikan nilai pendekatan yang memperlihatkan kekuatan campuran aspal ketika menerima beban.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil yang didapatkan memunculkan simpulan berikut:

1. *Job Mix Formula* terbaik yang bisa dipakai dalam Ac-Wc Modifikasi dengan menambahkan kombinasi campuran LDPE (*Low Density Polyethylene*) 2% dan Serat Baja Dramix 1%, sedangkan untuk variasi campuran lainnya tidak dapat digunakan sebagai pembuatan perkerasan jalan disebabkan tidak memenuhi persyaratan standarisasi teknis Bina Marga tahun 2018 Divisi 6 Revisi 2.
2. Pengaruh kekuatan pencampuran Ac-Wc Modifikasi memakai kombinasi campuran LDPE 2 % dan Serat Baja Dramix 1% bisa dipakai menjadi bahan penguat aspal karena memiliki nilai rata-rata VIM = 4,36, VMA = 34,98, VFB = 87,53, Stabilitas = 1.112,59, Flow = 2,80, dan MQ = 397,35.

5.2 Saran

Agar penelitian ini bisa mendapatkan hasil sesuai apa yang diinginkan serta merekomendasikan bagi penelitian lanjutan, dimana berbagai hal yang mesti menjadi perhatian yaitu :

1. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya untuk modifikasi LDPE dan Serat Baja Dramix terhadap pencampuran aspal.
2. Perlu dilakukan tentang penghamparan dilapangan untuk menyesuaikan komposisi yang telah dibuat.
3. Pengecekan mengenai alat laboratorium mesti dilakukan demi memahami kondisi alat dan menghindari kesalahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriyanto, B., & Indriati, E. W. (2018). Analisis Variasi Kadar Limbah Plastik LDPE Dalam Aspal Modifikasi Terhadap Karakteristik Dasar Aspal.
- Mahardi H. W., & Risdianto (t.thn.). Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Dalam Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc) Dengan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat. *Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya*, 1-7.
- Iskandar, C. S. (2021). Kinerja Campuran Beton Aspal AC-WC Dengan Penambahan Limbah Botol Plastik. *Jurnal Teknik Sipil - Macca*, 84-92.
- Karlina, S. (2013). Beton Aspal Campuran Panas. *Jurnal Of Chemical Information And Modeling*, 53(9).
- Kartolo et al. (2016). Pemanfaatan Limbah Sampah LDPE Sebagai Bahan Campuran Aspal.
- Khomaeni, Z. H. (2018). Analisa Pengaruh Penambahan LDPE Sebagai Campuran Aspal Terhadap Kuat Aspal Dengan Menggunakan Marshall Test.
- M. E, A., S, A., A, K., & R. P, J. (2017). Effect Of Waste Plastic As Bitumen Modified In Asphalt Mixture. *09018*, 0-6.
- M. R, K. U. (2018). Durabilitas Campuran Laston Lapis Aus (Ac-Wc) Di Substitusi Limbah LDPE Dengan Cara Kering Terhadap Rendaman Kotoran Sapi. *Jurnal Teknik Sipil*, 689-700.
- Mudjanaro, S., S. W, K., & A. D, L. (2019). Studi Penggunaan Variasi Campuran Material Plastik Jenis HDPE Pada Campuran Beraspal Untuk Lapis Aus Ac-Wc. *Universitas Narotama Surabaya, Jawa Timur*, 222-223.
- Prof, J. J. (2015). Sampah Dunia (Marine Debris). 1-2.
- Putra, N. E., Putri, E. E., & Purnawan. (2022). Durabilitas Campuran Laston AC-WC Disubstitusi Dengan Campuran Limbah Plastik LDPE, PP, PS. *Jurnal Teknik Sipil*, 11, 141-147.
- R. A, H., O. H, K., & M. M, M. (2016.). Pengaruh Variasi Kandungan Bahan Pengisi Terhadap Material Marshall Pada Campuran Beraspal Panas Beton Lapis Aus

- Gradasi Senjang. *Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado*, 4, 7.
- Razak, B. A., & Erdiansa, A. (2016). Karakteristik Campuran AC-WC Dengan Penambahan Limbah Plastik LDPE. *Journal INTEK*, 3, 8-14.
- Saputra, A. D., & Tajudin, A. N. (2021). Analisis Kemampuan Self Hiling Pada Lapis Aspal Beton Dengan Limbah Bubutan Baja Sebagai Bahan Tambah. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 4, 875-886.
- Suhardi. (2016). Studi Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Dengan Penambahan Limbah LDPE .
- U. F, S. K. (2018). Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Kresek Sebagai Substitusi Aspal Pen 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Laston Ac-Bc. *Jurnal Teknik Sipil*, 737-748.
- W. R, P. (2019). Studi Penggunaan Plastik Polypropylene Pada Campuran *Asphal Concrete Wearing Course*. 4271, 65-71.
- Yunus, I., Hafram, M., & Alifuddin, A. (2021). Analisis Campuran AC-WC Asb Menggunakan Plastik Tipe LDPE Sebagai Bahan Tambah. *Jurnal Teknik Sipil - Macca*, 108-117.