

**Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Terhadap Stabilitas Campuran  
Aspal Lapis Permukaan**

**(Skripsi)**

**Oleh:**

**ILHAM ZUKRI BATUBARA**

**1715011071**



**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

## **ABSTRAK**

### **PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH PLASTIK TERHADAP STABILITAS CAMPURAN ASPAL LAPIS PERMUKAAN**

**Oleh:**

**ILHAM ZUKRI BATUBARA**

Indonesia merupakan negara yang berada pada daerah beriklim tropis. Pengaruh cuaca menyebabkan menurunnya daya tahan dan kemampuan menahan beban lapisan perkerasan aspal. Salah satu faktor yang mempengaruhi hal tersebut adalah suhu. Oleh karena itu untuk mendapatkan mutu lapisan perkerasan yang sesuai untuk lapisan AC-WC dilakukan modifikasi pada aspal dengan menambahkan limbah plastik jenis LDPE (*Low Density Polyethylene*).

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh penambahan limbah plastik terhadap stabilitas aspal lapis permukaan (AC-WC) berdasarkan metode pengujian Marshall. Analisis dilakukan dengan mencampur plastik kedalam aspal dengan cara basah dan dicampur hingga homogen.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan plastik LDPE kedalam aspal memberikan ketahanan yang lebih baik terhadap suhu tinggi. Titik lembek aspal mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar plastik LDPE. Nilai berat jenis aspal juga mengalami kenaikan seiring penambahan kadar plastik LDPE. Sedangkan nilai penetrasi dan daktilitas mengalami penurunan.

Kata kunci: Aspal, Plastik LDPE, AC-WC, *Marshall*, Titik lembek.

## **ABSTRACT**

### ***THE EFFECT OF ADDING PLASTIC WASTE ON STABILITY OF SURFACE LAYER ASPHALT MIXTURES***

***By:***

**ILHAM ZUKRI BATUBARA**

*Indonesia is a country located in a tropical climate. The influence of weather causes a decrease in the durability and ability to withstand the load of the asphalt pavement layer. One factor that influences this is temperature. Therefore, to obtain a pavement layer quality that is suitable for AC-WC layers, modifications are made to the asphalt by adding LDPE (Low Density Polyethylene) type plastic waste.*

*This research was conducted to analyze the effect of adding plastic waste on the stability of surface layer asphalt (AC-WC) based on the Marshall test method. The analysis was carried out by mixing the plastic into the asphalt wetly and mixing until homogeneous.*

*The results of this research show that the addition of LDPE plastic to asphalt provides better resistance to high temperatures. The softening point of asphalt increases with the addition of LDPE plastic content. The specific gravity value of asphalt also increases with the addition of LDPE plastic content. Meanwhile, the penetration and ductility values decreased.*

*Keywords: Asphalt, LDPE Plastic, AC-WC, Marshall, Softening point.*

**Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Terhadap  
Stabilitas Campuran Aspal Lapis Permukaan**

**Oleh:**

**ILHAM ZUKRI BATUBARA**

**1715011071**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

Judul Skripsi : **PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH PLASTIK TERHADAP STABILITAS CAMPURAN ASPAL LAPIS PERMUKAAN**

Nama Mahasiswa : **Ilham Zukri Batubara**

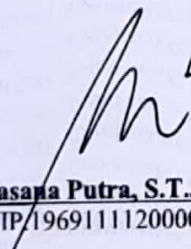
Nomor Pokok Mahasiswa : 1715011071


Jurusan : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

**MENYETUJUI**

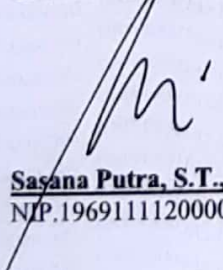
1. Komisi Pembimbing

  
**Sasana Putra, S.T., M.T.**  
NIP.196911112000031002

  
**Dr. Eng., Ir. Aleksander Purba, S.T., M.T., IPM. ASEAN Eng.**  
NIP.196811072000121001

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil

3. Ketua Program Studi SITeknik Sipil

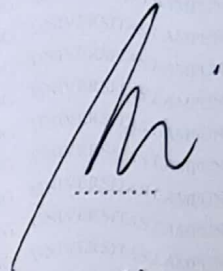
  
**Sasana Putra, S.T., M.T.**  
NIP.196911112000031002

  
**Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D**  
NIP.197208291998021001

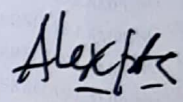
**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

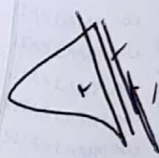
**Ketua : Sasana Putra, S.T., M.T.**



**Sekretaris : Dr. Eng., Ir. Aleksander Purba, S.T., M.T., IPM. ASEAN Eng.....**



**Penguji  
Bukan Pembimbing : Dr. Ir. Rahayu Sulistyorini, S.T., M.T.**



**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }**  
NIP 19750928 200112 1 002



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 23 Februari 2024**

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ilham Zukri Batubara  
Nomor Pokok Mahasiswa : 1715011071  
Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Terhadap  
Stabilitas Campuran Aspal Lapis Permukaan  
Jurusan : Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali sebagai acuan atau kutipan yang mengacu pada tata penulisan karya ilmiah yang telah ditetapkan. Judul penelitian didapat dari saya sendiri dan ide penelitian dibantu oleh pembimbing I, Bapak Sasana Putra, S.T., M.T. Apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidak benaran, saya bersedia menanggung akibat sanksi yang berlaku.

Bandar Lampung, Februari 2024

Penulis,

A handwritten signature in black ink is written over a yellow METRAI TEMPEL stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'METRAI TEMPEL' and '0020CALX039853582'.

**Ilham Zukri Batubara**  
NPM. 1715011071



## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kecamatan Panyabungan Kota, Kabupaten Mandailing Natal, Provinsi Sumatera Utara pada tanggal 05 Oktober 1998, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Almarhum Bapak Mukri Batubara dan Ibu Hj. Marwah Matondang, S.Pd. Penulis memiliki dua saudara, yaitu kakak laki-laki pertama yang bernama Rahmad Hidayat Batubara, S.P. dan kakak laki-laki kedua yang bernama Muhammad Ikhsan Batubara. Penulis memulai jenjang pendidikan dari taman kanak-kanak di TK Adnani yang diselesaikan pada tahun 2005, kemudian pendidikan tingkat dasar di SD Negeri 106 Aek Galoga, Kabupaten Mandailing Natal yang diselesaikan pada tahun 2011, lalu dilanjutkan pendidikan tingkat pertama di SMPN 1 Panyabungan yang diselesaikan pada tahun 2014, dan dilanjutkan menempuh pendidikan tingkat atas di SMAN 3 Panyabungan yang diselesaikan pada tahun 2017.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis berperan aktif di dalam Organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung sebagai anggota Departemen Usaha dan Karya 2018-2019, kemudian penulis menjadi anggota Hubungan Masyarakat mahasiswa baru pada Departemen Kaderisasi Periode 2018-2019.

Penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode II di Desa Tanjung Sari, Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan selama 40 hari, Agustus-September 2021. Di tahun 2022, penulis juga telah melakukan kerja praktik di Proyek



Pembangunan Gedung Pengadilan Agama Sukadana, Lampung Timur selama 3 bulan.  
Penulis mengambil Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Terhadap Stabilitas Campuran Aspal Lapis Permukaan”.

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*kupersembahkan karyaku ini  
untuk ayah dan ibuku tersayang  
yang mendidik dan menyayangiku  
tanpa batas dimensi ruang dan waktu*

dan untuk yang selalu bertanya  
“kapan skripsimu selesai?”

Terlambat lulus atau tidak lulus tepat waktu bukanlah sebuah aib, dan bukan pula sebuah kejahatan. Alangkah kerdilnya jika mengukur kecerdasan seseorang hanya dari siapa yang paling cepat lulus. Bukankah sebaik-baiknya skripsi adalah skripsi yang selesai ?

Karena mungkin ada suatu hal dibalik terlambatnya mereka lulus. Dan percayalah, alasan saya disini adalah alasan yang sepenunya baik.

## **PRAKATA**

Puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah senantiasa memberikan rahmat dan anugrah-Nya. Sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

Adapun tujuan dari pembuatan laporan ini adalah untuk memenuhi persyaratan akademis dalam menempuh pendidikan S1 di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Tidak lupa menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah berkontribusi dalam penulisan Skripsi ini, yaitu:

1. Kedua orang tua tercinta Ibu dan Bapak, Hj. Marwah Matondang S.Pd. dan Mukri Batubara yang telah dengan tulus, penuh kasih sayang dan kesabaran memberikan dorongan, dukungan, dan doa yang tidak pernah putus sehingga laporan ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Bapak Dr.Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku dekan fakultas Teknik Universitas Lampung
3. Bapak Sasana Putra S.T., M.T. Selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung sekaligus Dosen Pembimbing utama, atas kesediaan waktunya memberikan bimbingan dan pengarahannya selama penelitian maupun selama penyusunan laporan ini.
4. Bapak Muhammad Karami, S.T.,M.Sc.,Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Eng., Ir Aleksander Purba, S.T., M.T. IPM., ASEAN Eng. Selaku pembimbing II, atas kesediaan waktunya dalam memberikan bimbingan dan pengarahan selama penelitian dan penyusunan laporan skripsi ini.
6. Ibu Dr. Rahayu Sulistiyorini,S.T.,M.T., Selaku Dosen Penguji Skripsi saya.

7. Kepada kedua saudara kandung saya, Rahmad Hidayat Batubara S.P. dan Muhammad Ikhsan Batubara yang selalu mendukung dan memberi semangat.
8. Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung angkatan 2017.
9. Rekan-rekan mahasiswa angkatan 2021, yang membantu selama proses pembuatan sampel.
10. Kepada Cici Doria, S.Hut. yang terus memberikan dukungan dan bantuan dari awal hingga laporan ini selesai.

Menyadari dalam penyusunan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan baik dari segi isi maupun sistematika. Hal ini disebabkan karena adanya keterbatasan pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki.

Oleh karena itu, diharapkan adanya kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan Penelitian ini. Demikian, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, 2024

Penulis

**Ilham Zukri Batubara**  
**NPM. 1715011071**

## DAFTAR ISI

<b>PRAKATA.....</b>	<b>I</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>III</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>V</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>VI</b>
<b>I. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1. Latar Belakang .....	1
2. Rumusan Masalah .....	2
3. Tujuan Penelitian .....	2
4. Batasan Penelitian .....	2
5. Manfaat Penelitian .....	3
6. Sistematika Penulisan .....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
1. Perkerasan Jalan.....	5
2. Aspal Lapis Permukaan .....	7
3. Bahan Campuran Aspal .....	9
4. Aspal Modifikasi Polimer .....	13
5. Plastik <i>Low Density Polyethylene (LDPE)</i> .....	15
6. Penelitian Terdahulu .....	16
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>18</b>
1. Diagram Alir Penelitian .....	18

2. Lokasi Penelitian.....	19
3. Bahan-Bahan Penelitian.....	20
4. Peralatan Penelitian.....	22
5. Prosedur Penelitian .....	23
6. Pengolahan dan Pembahasan Hasil.....	30
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>31</b>
1. Hasil Pengujian Agregat .....	31
2. Hasil Pengujian Aspal.....	33
3. Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	34
4. Indeks Kekuatan Sisa (IKS).....	46
5. Komparasi Dengan Penelitian Terdahulu .....	47
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>50</b>
1. Kesimpulan .....	50
2. Saran.....	51

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian .....	18
Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian (Lanjutan).....	19
Gambar 3.3. Laboratorium Inti Jalan Raya.....	19
Gambar 3.4. Agregat Kasar.....	20
Gambar 3.5. Agregat Halus.....	20
Gambar 3.6. Filler .....	21
Gambar 3.7. Aspal Pen. 60/70 .....	21
Gambar 3.8. Plastik LDPE.....	22
Gambar 3.9. Alat Uji <i>Marshall</i> .....	23
Gambar 3.10. Rencana Gradasi Campuran Aspal AC-WC .....	26
Gambar 4.1. Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Nilai <i>VIM</i> .....	36
Gambar 4.2. Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Nilai <i>VMA</i> .....	38
Gambar 4.3. Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Nilai <i>VFA</i> .....	39
Gambar 4.4. Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Nilai Stabilitas .....	40
Gambar 4.5. Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Nilai <i>Flow</i> .....	42
Gambar 4.6. Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Nilai <i>MQ</i> .....	43
Gambar 4.7. Diagram Batang KAO 0%.....	44
Gambar 4.8. Diagram Batang KAO 5%.....	44
Gambar 4.9. Diagram Batang KAO 10%.....	44
Gambar 4.10. Diagram Batang KAO 15% .....	44



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Amplop Gradasi Agregat Campuran Untuk AC-WC .....	9
Tabel 2.2. Amplop Gradasi Agregat Campuran Untuk AC-WC (Lanjutan) .....	10
Tabel 2.3. Persyaratan Agregat Kasar Untuk AC-WC .....	10
Tabel 2.4. Persyaratan Agregat Halus Untuk AC-WC .....	10
Tabel 2.5. Ketentuan Aspal Modifikasi .....	14
Tabel 2.6. Ketentuan Aspal Modifikasi (Lanjutan) .....	15
Tabel 3.1. Standar Pemeriksaan Agregat .....	24
Tabel 3.2. Standar Pemeriksaan Agregat (Lanjutan) .....	25
Tabel 3.3. Standar Pengujian Aspal .....	25
Tabel 3.4. Rencana Gradasi Agregat Aspal AC-WC .....	26
Tabel 3.5. Kebutuhan Agregat Pada Sampel .....	27
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Agregat .....	31
Tabel 4.2. Hasil Pengujian Aspal .....	33
Tabel 4.3. Rekapitulasi Nilai Parameter <i>Marshall</i> Dengan Campuran LDPE.....	35
Tabel 4.4. Kadar Aspal Optimum (KAO) Dengan Penambahan LDPE .....	45
Tabel 4.5. Perbandingan Nilai Stabilitas Pada Setiap KAO Dengan Rendaman 30 Menit dan 24 Jam .....	47

## I. PENDAHULUAN

### 1. Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan dan pertumbuhan penduduk sangat pesat, seiring dengan hal tersebut mengakibatkan banyaknya sampah yang dihasilkan penduduk, dan sampah plastik merupakan salah satu masalah terbesar yang ada saat ini. Sifat sampah plastik yang tidak mudah terurai, dan bersifat karsinogenik, sehingga butuh waktu sampai ratusan tahun untuk bisa terurai secara alami.

Diperkirakan setiap orang menghabiskan 170 kg limbah plastik setiap tahunnya. Didorong oleh kebiasaan dan peningkatan gaya hidup, menjadikan limbah plastik terus meningkat. Lebih dari 17 milyar kantong plastik dibagikan supermarket di seluruh dunia setiap tahunnya. (Utomo, 2010).

Namun limbah plastik juga membuka peluang untuk dimanfaatkan di bidang konstruksi jalan raya. Penambahan limbah plastik dalam aspal akan memberikan pengaruh yang baik terhadap sifat-sifat aspal (Asrar, 2007). Hasil pengujian marshall terhadap campuran beraspal yang mengandung plastik menunjukkan bahwa penambahan kadar plastik sampai dengan 3% pada aspal meningkatkan nilai stabilitas, berat isi, kepadatan agregat yang dipadatkan (CAD) dan marshall Quotient campuran HRA. Dengan penambahan plastik pada aspal, nilai deformasi permanen campuran dari hasil tes jejak roda mengalami penurunan dan menyebabkan peningkatan terhadap stabilitas dinamis.

Mengacu pada hal tersebut, maka penulis ingin melakukan pengujian terhadap lapisan aspal AC-WC yang dimodifikasi dengan penambahan limbah plastik.

## **2. Rumusan Masalah**

Masalah yang akan dibahas pada penelitian ini antara lain:

- I. Mengetahui penambahan plastik LDPE dapat meningkatkan kuat tekan aspal lapis AC-WC dengan pengujian Marshall Test.
- II. Menganalisis perbandingan karakteristik aspal lapis permukaan dengan bahan tambah limbah plastik LDPE dengan tanpa rendaman, 30 menit rendaman, dan 24 jam rendaman.

## **3. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Membandingkan perbedaan kinerja aspal dengan 4 variasi LDPE
2. Menghitung pengaruh variasi penambahan plastik LDPE terhadap campuran aspal lapis permukaan
3. Mengkaji penggunaan plastik LDPE sebagai substitusi aspal pada campuran AC-WC.

## **4. Batasan Penelitian**

Agar penelitian ini dapat efektif dan sesuai dengan tujuan, penelitian ini perlu dibatasi. Lingkup penelitian ini terbatas pada:

- I. Perencanaan campuran menggunakan perencanaan campuran untuk lapis permukaan (AC-WC) mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018.
- II. Sumber campuran aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah:
  - a. Aspal Pertamina Pen. 60/70.
  - b. Agregat (kasar, halus, dan abu batu).

- III. Penelitian ini didasarkan pada pengujian *Marshall* untuk mengetahui kinerja campuran aspal dengan limbah plastik *Low Density Polyethylene (LDPE)*, yaitu pada nilai Stabilitas, *Flow*, *VIM*, *VMA*.
- IV. Indeks kekuatan sisa (IKS) perbandingan antara stabilitas benda uji setelah perendaman dan stabilitas benda uji standar yang dinyatakan dalam persen.
- V. Bahan *additive* aspal yang digunakan adalah plastik *low density polyethylene (LDPE)*.
- VI. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Lampung.

## **5. Manfaat Penelitian**

Dengan adanya kajian ini, diharapkan mampu memberikan manfaat bagi dunia konstruksi, khususnya konstruksi jalan raya dan menambah wawasan mengenai penambahan plastik sebagai bahan tambah campuran limbah plastik terhadap aspal AC – WC yang ditinjau, apabila penelitian ini memberikan hasil yang positif, dapat digunakan pada konstruksi jalan raya di Indonesia sekaligus juga dapat menjadi salah satu solusi terhadap permasalahan sampah yang semakin besar di Indonesia.

## **6. Sistematika Penulisan**

### **I. Pendahuluan**

Pada bab ini berisi latar belakang penelitian, rumusan dan batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

### **II. Tinjauan Pustaka**

Bab ini berisikan pembahasan dari teori-teori dan rumus-rumus yang digunakan untuk menunjang penelitian yang diperoleh dari berbagai sumber.

### **III. Metodologi Penelitian**

Bab ini akan menjelaskan mengenai metode yang digunakan dalam penelitian untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan dalam proses pengolahan data.

### **IV. Hasil dan Pembahasan**

Pada bab ini berisi tentang pelaksanaan penelitian yang dilakukan mencakup hasil pengumpulan data, pengolahan data, analisis dan pembahasan data berdasarkan hasil yang diperoleh dan teori yang ada.

### **V. Kesimpulan dan Saran**

Bab ini akan berisi kesimpulan yang diambil dari penelitian ini dan saran. Pada akhir penulisan skripsi ini akan dilampirkan daftar pustaka sebagai referensi penunjang yang digunakan dan lampiran yang berisikan data-data penunjang dalam proses pengolahan data.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 1. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan, adalah konstruksi jalan yang diperkeras dengan lapis tertentu yang memiliki ketebalan, kekuatan, dan kekakuan, serta kestabilan tertentu agar penyaluran beban lalu lintas dari lapis permukaan (AC-WC) ke tanah dasar dapat dilakukan secara aman. Perkerasan jalan terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti.

Berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan menjadi:

a. Konstruksi perkerasan lentur (*Flexible Pavement*)

Merupakan perkerasan yang umumnya menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Sehingga lapisan perkerasan ini mempunyai fleksibilitas atau kelenturan yang dapat menciptakan kenyamanan kendaraan dalam melintas di atasnya.

b. Konstruksi perkerasan kaku (*Rigid Pavement*)

Merupakan perkerasan yang menggunakan semen (*Portland Cement*) sebagai bahan pengikatnya, atau juga disebut *Rigid Pavement*. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar. Pelat beton ini akan memikul sebagian besar beban lalu lintas di atasnya. Sifat, daya dukung, dan keseragaman tanah dasar mempengaruhi kekuatan dari lapis perkerasan kaku.

c. Konstruksi perkerasan komposit (*Composite Pavement*)

Merupakan perkerasan kombinasi antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Jenis perkerasan ini bekerjasama dalam memikul beban lalu lintas, dimana salah satu syaratnya adalah ketebalan perkerasan aspal harus mempunyai kekakuan yang cukup agar dapat mencegah retak refleksi dari perkerasan.

Agar perkerasan jalan mempunyai daya dukung dan keawetan yang baik dan ekonomis, maka perkerasan jalan dibuat dengan beberapa lapisan. Lapis paling atas atau lapis permukaan adalah lapisan yang paling baik mutunya. Di bawahnya terdapat lapis pondasi yang diletakkan di atas permukaan tanah dasar yang telah dipadatkan (Suprpto,2004).

a. Lapis permukaan (LP)

Lapis permukaan adalah bagian perkerasan yang paling atas. Fungsi lapis permukaan dapat meliputi:

1) Struktural

Ikut mendukung dan menyebarkan beban kendaraan yang diterima oleh perkerasan, baik beban vertikal maupun beban horizontal (gaya geser). Untuk hal ini persyaratan yang dituntut adalah kuat, kokoh, dan stabil.

2) Non struktural

Dalam hal ini mencakup:

- Lapis kedap air, mencegah masuknya air ke dalam lapisan perkerasan yang ada di bawahnya.
- Menyediakan permukaan tetap rata, agar kendaraan dapat berjalan dan memperoleh kenyamanan yang cukup.
- Membentuk permukaan yang tidak licin, sehingga tersedia koefisien gerak (*skid resistance*) yang cukup untuk menjamin tersedianya keamanan lalu lintas.
- Sebagai lapisan aus, yaitu lapis yang dapat aus yang selanjutnya dapat diganti lagi dengan yang baru.



b. Lapis pondasi atas (LPA) atau *Base Course*

Lapis pondasi atas adalah bagian dari perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah atau dengan tanah apabila tidak menggunakan lapis pondasi bawah. Fungsi lapis ini adalah:

- 1) Lapis pendukung bagi lapis permukaan.
- 2) Pemikul beban horizontal dan vertikal.
- 3) Lapis perkerasan bagi pondasi bawah.

c. Lapis pondasi bawah (LPB) atau *Subbase Course*

Lapis pondasi bawah adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar. Fungsi lapis ini adalah:

- 1) Penyebar beban roda.
- 2) Lapis peresapan.
- 3) Lapis pencegah masuknya tanah dasar ke lapis pondasi.
- 4) Lapis pertama pada pembuatan perkerasan.

d. Tanah dasar (TD) atau *Subgrade*

Tanah dasar (*Subgrade*) adalah permukaan tanah semula, permukaan tanah galian atau permukaan tanah timbunan yang dipadatkan dan merupakan permukaan tanah dasar untuk meletakkan bagian-bagian perkerasan lainnya.

## 2. Aspal Lapis Permukaan

Lapisan aspal AC-WC adalah lapisan yang memiliki struktur paling halus dibandingkan dengan lapisan lainnya. Adanya campuran bergradasi rapat yang memiliki sedikit rongga pada campuran aspal AC-WC menyebabkan lapisan ini lebih peka terhadap variasi dan proporsi campuran.

Sebagai lapisan yang terletak di susunan paling atas, tentu saja lapisan aspal AC-WC akan langsung berhubungan dengan kondisi luar, seperti cuaca lingkungan dan ban kendaraan. Oleh sebab itu, lapisan ini harus dibuat kedap air dan memiliki

kekesatan yang tinggi. Untuk ketebalan minimum aspal AC-WC adalah 4 cm. Fungsi lapisan aspal AC-WC antara lain:

A. Sebagai lapisan penahan beban.

Fungsi utama dari aspal AC-WC adalah sebagai lapisan yang pertama kali menahan beban kendaraan. Inilah sebabnya aspal AC-WC harus memiliki stabilitas yang tinggi untuk menghindari perubahan bentuk, alur, dan bleeding. Namun dalam menentukan stabilitas jalan perlu untuk mempertimbangkan seberapa besar beban lalu lintas yang akan dilayani. Stabilitas jalan untuk volume lalu lintas yang padat tentu akan berbeda dengan jalan yang akan melayani lalu lintas kendaraan ringan.

B. Sebagai lapisan aus.

Selain sebagai penahan beban secara langsung, lapisan aspal AC-WC juga akan menerima gesekan ban kendaraan secara langsung yang membuat ban tersebut menjadi aus atau menyusut. Struktur lapisan permukaan ini perlu dibuat supaya mampu memberikan gaya gesek dalam kondisi basah supaya kendaraan tidak tergelincir.

C. Melindungi lapisan di bawahnya.

Adanya air dan udara dari lingkungan dapat mempercepat proses penuaan dan pengelupasan selimut aspal. Supaya lapisan kedua dan ketiga tetap aman dan terlindungi dari air hujan, maka sebagai lapisan pertama, aspal AC-WC harus didesain supaya dapat kedap air. Untuk mengetahui kedap air suatu lapisan, jumlah pori-pori pada campuran setelah dipadatkan dapat menjadi salah satu indikator.

D. Menyebarkan beban.

Setiap lapisan aspal memiliki beban yang berbeda-beda. Sebagai lapisan *Surface Course* atau lapisan yang berada di permukaan, tentu lapisan ini akan menerima beban yang paling besar. Inilah mengapa lapisan AC-WC harus mampu mendistribusikan beban tersebut secara merata ke lapisan berikutnya.

### 3. Bahan Campuran Aspal

Campuran aspal panas merupakan campuran antara agregat kasar, agregat halus, filler, dan bahan pengikat aspal dengan perbandingan-perbandingan tertentu dan dicampur dalam kondisi panas. Menurut spesifikasi umum oleh Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2010 jenis campuran beraspal panas terbagi menjadi tiga yaitu lapis tipis aspal pasir (*sand sheet, SS*), lapis tipis aspal beton (*hot tolled sheet, HRS*), dan lapis aspal beton (*asphalt concrete, AC*).

#### A. Agregat

Komponen utama dari struktur perkerasan jalan merupakan agregat, yaitu 90-95% berdasarkan persentase berat merupakan agregat, atau 75-85% berdasarkan persentase volume merupakan agregat. Sifat agregat menentukan kemampuan perkerasan jalan untuk memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca. Oleh sebab itu dilakukan pengujian terhadap agregat untuk mengetahui apakah agregat memenuhi spesifikasi yang disyaratkan sebelum digunakan sebagai material perkerasan jalan.

Gradasi, tekstur permukaan, bentuk butir, berat jenis, kebersihan, kekerasan dan ketahanan, kemampuan untuk menyerap air, porositas, dan daya ikat aspal dengan agregat menentukan kualitas dari agregat tersebut. Dalam penelitian ini menggunakan gradasi batas tengah. Amplop gradasi agregat untuk AC-WC dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Amplop Gradasi Agregat Campuran Untuk AC-WC.

Ukuran Ayakan		Kumulatif Berat Lolos Terhadap Total Agregat (%)	
ASTM	(mm)	Batas Bawah	Batas Atas
¾	19	100	100
½	12,5	90	100
3/8	9,5	77	90
No.4	4,75	53	69
No.8	2,36	33	53
No.16	1,18	21	40
No.30	0,6	14	30

Tabel 2.2. Amplop Gradasi Agregat Campuran Untuk AC-WC (lanjutan)

No.50	0,3	9	22
No.100	0,15	6	15
No.200	0,075	4	9

Sumber: *Spesifikasi Umum (2018)*

Aspal lapis permukaan terdiri dari fraksi agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar adalah agregat yang tertahan pada ayakan no 4,75. Sedangkan agregat halus adalah agregat yang lolos ayakan no 4,75. Persyaratan agregat kasar dan halus dapat dilihat pada Tabel 2.2. dan Tabel 2.3. berikut:

Tabel 2.3. Persyaratan Agregat Kasar Untuk AC-WC.

Pengujian		Metoda Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	<i>Natrium sulfat</i>	SNI 3407:2008	Maks.12%
	<i>Magnesium sulfat</i>		Maks.18%
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	Campuran AC modifikasi dan SMA	SNI 2417:2008	100 putaran
			500 putaran
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya		100 putaran
			500 putaran
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: *Spesifikasi umum Bina Marga (2018)*.

Tabel 2.4. Persyaratan Agregat Halus Untuk AC-WC.

Pengujian	Metoda Pengujian	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji kadar rongga tanpa pemadatan	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: *Spesifikasi umum Bina Marga (2018)*.

## B. Aspal

Aspal atau bitumen adalah bahan hidrokarbon yang bersifat melekat, berwarna hitam yang memiliki kilau atau resin yang bersinar, tahan terhadap air, dan viskoelastis. Aspal juga merupakan bahan pengikat pada campuran beraspal yang dimanfaatkan sebagai lapis permukaan lapis perkerasan lentur.

Aspal tampak padat pada suhu ruangan, padahal adalah cairan yang sangat kental. Aspal merupakan bahan yang sangat kompleks, dan secara kimia belum dikarakterisasi dengan baik. Kandungan utama aspal adalah senyawa karbon jenuh, dan tak jenuh, alifatik, dan aromatic yang mempunyai atom karbon sampai 150 per molekul. Atom-atom selain hidrogen, dan karbon yang juga menyusun aspal adalah nitrogen, oksigen, belerang, dan beberapa atom lain. Berdasarkan campurannya, aspal dibedakan menjadi:

- Aspal campuran panas

Aspal campuran panas atau HMA (*Hot Mix Asphalt*) adalah sebutan yang diberikan untuk campuran aspal yang dipanaskan dan dituangkan pada suhu antara 300 dan 350 derajat Fahrenheit. Jenis aspal ini adalah jenis aspal yang paling umum digunakan untuk jalan raya, dan jalan karena fleksibilitasnya, tahan cuaca dan kemampuan untuk mengusir air. Aspal campuran panas digunakan ketika suhu udara luar di atas 40 derajat, karena kecenderungannya untuk pendinginan yang cepat.

- Aspal campuran hangat

Aspal campuran hangat atau WMA saat ini digunakan di sekitar 30 persen dari semua proyek paving. WMA diproduksi pada suhu antara 200 dan 250 derajat Fahrenheit. Ini menggunakan lebih sedikit bahan bakar fosil dan sumber daya dalam proses pembuatannya dan termasuk bahan pengikat tambahan dan aditif, termasuk lilin, emulsi, dan zeolit untuk lebih mudah menuangkan dan menyebar pada suhu rendah. WMA lebih murah untuk diproduksi daripada HMA.

- Aspal campuran dingin

Aspal dingin dibuat dengan cara mengemulsi aspal dengan air dan zat pengemulsi, sebelum dicampur dengan agregat sehingga menghasilkan aspal yang kurang kental. Aspal dingin terkenal dengan harganya yang relatif terjangkau dan kerap digunakan untuk memperbaiki lubang jalan serta trotoar dengan kondisi permukaan yang sudah aus. Kelebihan lain dari aspal dingin adalah pengaplikasiannya yang mudah dan tidak memerlukan mesin khusus berteknologi tinggi.

Aspal memiliki kelemahan terhadap suhu tinggi, suhu yang terlalu tinggi dapat melemahkan pengikat aspal sehingga daya rekatnya berkurang. Apabila dalam kondisi ini aspal diberikan beban yang cukup berat, maka bagian permukaan aspal akan lebih cepat rusak. Tidak hanya itu, suhu yang terlalu dingin juga dapat menimbulkan keretakan pada aspal.

### C. Filler

*Filler* merupakan material pengisi dalam lapisan aspal. *Filler* dalam campuran aspal adalah bahan yang 100% lolos saringan No. 100 dan paling kurang 75% lolos saringan No. 200. Fungsi *filler* yaitu untuk mengisi rongga antar agregat halus dan kasar yang dapat diperoleh dari hasil pemecahan batuan secara alami maupun buatan. Macam-macam bahan pengisi yang dapat digunakan antara lain abu batu, kapur padam, *Portland Cement* (PC), debu dolomit, abu terbang, debu tanur tinggi pembuat semen, dan bahan mineral tidak plastis lainnya.

Bahan pengisi bertujuan untuk meningkatkan kekentalan bahan bitumen dan untuk mengurangi sifat rentan terhadap temperatur. Keuntungan lain dengan adanya bahan pengisi adalah karena banyak terserap dalam bahan bitumen maka akan menaikkan volumenya. Selain itu bahan pengisi (*filler*) dapat mengurangi volume pori-pori atau rongga sehingga dapat meningkatkan kepadatan dan dapat menurunkan permeabilitas campuran aspal

#### 4. Aspal Modifikasi Polimer

Aspal polimer merupakan material yang dihasilkan dari modifikasi antara polimer alam atau polimer sintetis dengan aspal. Aspal modifikasi polimer dikembangkan untuk meningkatkan hasil ketahanan yang lebih baik terhadap deformasi, mengatasi keretakan-keretakan dan meningkatkan ketahanan yang tinggi dari kerusakan akibat umur sehingga dihasilkan pembangunan jalan lebih tahan lama serta dapat mengurangi biaya perawatan atau perbaikan jalan.

Bahan aditif adalah suatu bahan yang dipakai untuk ditambahkan pada aspal. Penggunaan bahan aditif aspal merupakan bagian dari klasifikasi jenis aspal modifikasi yang berunsur dari jenis karet, karet sintetis atau buatan, dan juga dari bahan plastik. Aspal polimer telah dikembangkan dalam beberapa dekade terakhir. Telah dikembangkan di berbagai negara termasuk di Indonesia.

Modifikasi aspal polimer dibagi menjadi 2 yaitu:

##### A. Aspal polimer elastomer

Elastomer yaitu polimer yang memiliki sifat elastis berupa kumpulan benda yang mempunyai sifat karet asli karet vulkanisasi, karet olahan ulang, atau karet tiruan yang meregang apabila diregangkan lalu mengerut secara cepat dan pulih ke dimensi semula secara penuh. Karet alam, getah asli, silikon, poli uretan, nesprene, *Sytrene Butadine Styrene* (SBS), *Styrene Butadine Rubber* (SBR), *Styrene Isoprene Styrene* (SIS) adalah jenis polimer yang biasanya digunakan sebagai bahan pencampur aspal keras. Dengan menambahkan bahan elastomer dapat meningkatkan ketahanan yang lebih baik terhadap deformasi.

##### B. Aspal polimer plastomer

Salah satu teknologi dalam aspal adalah penambahan bahan polimer plastomer dimaksudkan untuk meningkatkan sifat reologi baik pada aspal keras dan sifat fisik campuran beraspal. Jenis polimer plastomer yang telah banyak digunakan antara lain adalah *Ethylene Vinyle Acetate* (EVA), *Polypropilene*, dan



*Polyethylene* (PE). Persentase penambahan polimer ini ke dalam aspal keras juga harus ditentukan berdasarkan pengujian laboratorium, penambahan ini dapat memperbaiki sifat-sifat reologi aspal dan campuran tetapi penambahan yang berlebih justru akan memberikan pengaruh yang negatif

Persyaratan aspal yang digunakan sesuai Spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga, Spesifikasi Umum 2010 Revisi 3 Divisi 6 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan. Spesifikasi untuk aspal pen 60/70 dan aspal modifikasi dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.5. Ketentuan aspal modifikasi.

No	Jenis pengujian	Metoda Pengujian	Tipe Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				Elastomer Sintetis	
				PG70	PG76
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70	Dilaporkan	
2	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis ( $G^*/\sin\delta$ ) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 1,0$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
3	Viskositas kinematik 135°C (cSt) <sup>(3)</sup>	ASTM D2170-10	$\geq 300$	$\leq 3000$	
4	Titik lembek (°C)	SNI 2434:2011	$\geq 48$	Dilaporkan	
5	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	$\geq 100$	-	
6	Titik nyala (°C)	SNI 2433:2011	$\geq 232$	$\geq 230$	
7	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	$\geq 99$	$\geq 99$	
8	Berat jenis	SNI 2442:2011	$\geq 1,0$	-	
9	Stabilitas penyimpanan: perbedaan titik lembek (°C)	ASTM D 5976-00 part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	$\leq 2,2$	
10	Kadar parafin lilin (%)	SNI 03-3639-2002	$\leq 2$		
<b>Pengujian residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002):</b>					
11	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2441-1991	$\leq 0,8$	$\leq 0,8$	
12	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis ( $G^*/\sin\delta$ ) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 2,2$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
13	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	$\geq 54$	$\geq 54$	$\geq 54$
14	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	$\geq 50$	$\geq 50$	$\geq 25$
<b>Residu aspal segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperatur 100°C dan tekanan 2,1 Mpa</b>					

Tabel 2.6. Ketentuan aspal modifikasi (lanjutan).

15	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis ( $G \cdot \sin \delta$ ) pada osilasi 10 rad/detik $\leq 5000$ kPa, ( $^{\circ}\text{C}$ )	SNI 06-6442-2000	-	31	34
----	--	------------------	---	----	----

Sumber: Spesifikasi umum kementerian pekerjaan umum dan perumahan rakyat (2018)

## 5. Plastik *Low Density Polythylene (LDPE)*

Faktor cuaca yang menyebabkan terjadinya oksidasi oleh sinar matahari mempengaruhi aspal menjadi cepat lapuk. Oleh sebab itu, adanya aspal modifikasi bertujuan untuk menaikkan titik lembek aspal sehingga penetrasi indeks aspal naik. Sehingga kekurangan aspal terhadap perbedaan temperatur dapat dikurangi. Dengan naiknya indeks penetrasi maka *stiffness* modulus aspal akan naik pada akhirnya. Hal ini akan menghasilkan aspal yang lebih tahan terhadap beban berat dan padat.

Bahan untuk menaikkan titik lembek aspal salah satunya adalah dengan memanfaatkan plastik mutu rendah jenis *polietilen* yang harganya lebih murah dibandingkan dengan plastik asli dan juga mudah didapat. Beberapa jenis plastik sudah banyak dan lama digunakan untuk menaikkan mutu aspal atau campuran beraspal, namun plastik mutu rendah belum banyak digunakan secara luas. Untuk menentukan *stiffness* Modulus Aspal menggunakan rumus:

$$S_b = 1,157 \times 10^{-7} \times t^{-0,368} \times 2,718^{-Pr} \times (TL - T)^5 \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

t = Waktu pembebanan.

$P_r$  = Penetrasi indek aspal x 0,35

TL = Titik lembek aspal.

T = Temperatur perkerasan jalan dimana aspal digunakan.

$S_b$  = *Stiffness* modulus aspal.

## 6. Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang campuran aspal yang menggunakan sampah plastik sebagai bahan substitusi aspal sudah banyak dilakukan. Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan variasi persentase plastik ataupun jenis plastik yang berbeda dan dengan menggunakan campuran aspal yang berbeda juga. Jenis campuran aspal yang digunakan dalam beberapa penelitian antara lain AC-WC dan AC-BC dengan variasi persentase plastik yang berbeda.

Beberapa penelitian terdahulu yang pernah dilakukan antara lain:

- A. Razak dan Andi (2016), mengenai karakteristik campuran AC-WC dengan penambahan limbah plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE). Dimana penelitian ini menghasilkan nilai stabilitas, flow dan MQ yang mengalami kenaikan dan penurunan yang tidak stabil, sedangkan nilai VFB dan kepadatan meningkat. Berdasarkan sifat fisik campuran, penambahan limbah plastik mengalami kenaikan dan penurunan yang tidak stabil, sehingga pengaruh limbah plastik terhadap sifat fisik campuran AC-WC tidak jelas.
- B. Pandry (2014) meneliti penggunaan plastik LDPE sebagai substitusi aspal pada campuran AC-WC. Penelitian ini menghasilkan nilai beberapa karakteristik *Marshall* untuk setiap campuran dan variasi kadar aspal cenderung stabil. Artinya jika nilai karakteristiknya naik diikuti dengan kenaikan nilai karakteristik untuk setiap penambahan kadar aspal.
- C. Anni (2021) melakukan penelitian terhadap pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan tambah pada beton aspal campuran panas. Penelitian ini menghasilkan peningkatan nilai VFB, Stabilitas, Kelelehan dan MQ. Dan penurunan nilai VMA dan VIM.
- D. Nasution (2017), juga membahas tentang pengaruh penambahan plastik PET (*polyethilen terephthalate*) terhadap karakteristik campuran laston AC-WC di laboratorium. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan

persentase PET pada campuran AC-WC yang memenuhi spesifikasi bina marga 2010 adalah penambahan 2% PET.

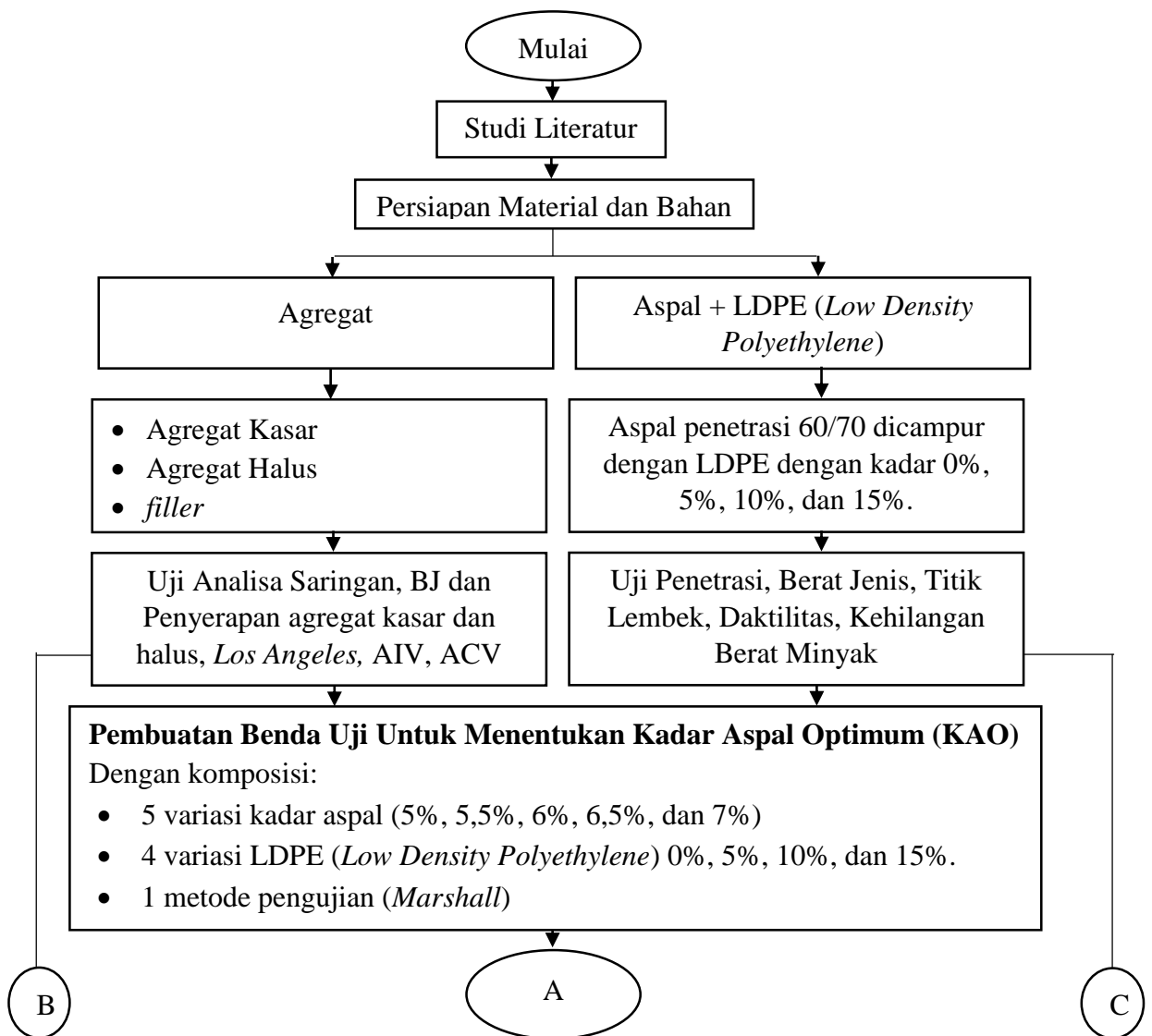
- E. Rahmawati (2015), juga membahas tentang pengaruh penggunaan plastik *Polyethilene* (PE) dan *High Density Polyethilen* (HDPE) pada campuran lataston-WC terhadap karakteristik *marshall*. Hasil penelitian menunjukkan nilai stabilitas, kelelahan dan VFA cenderung mengalami peningkatan.

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu di atas, maka penelitian ini berfokus pada peningkatan kekakuan pada aspal dengan menambahkan limbah plastik sebagai substitusi. Sehingga diharapkan aspal lebih kuat terhadap suhu tinggi yang dapat menyebabkan aspal kehilangan kekakuan dan menyebabkan pelemahan terhadap kekuatan aspal terhadap beban yang diterima. Untuk itu pada penelitian ini diberikan jumlah kadar plastik yang cukup tinggi, yakni 5%, 10%, dan 15%. Sehingga diharapkan nilai kekakuan yang didapat akan lebih tinggi dibanding penelitian terdahulu di atas.

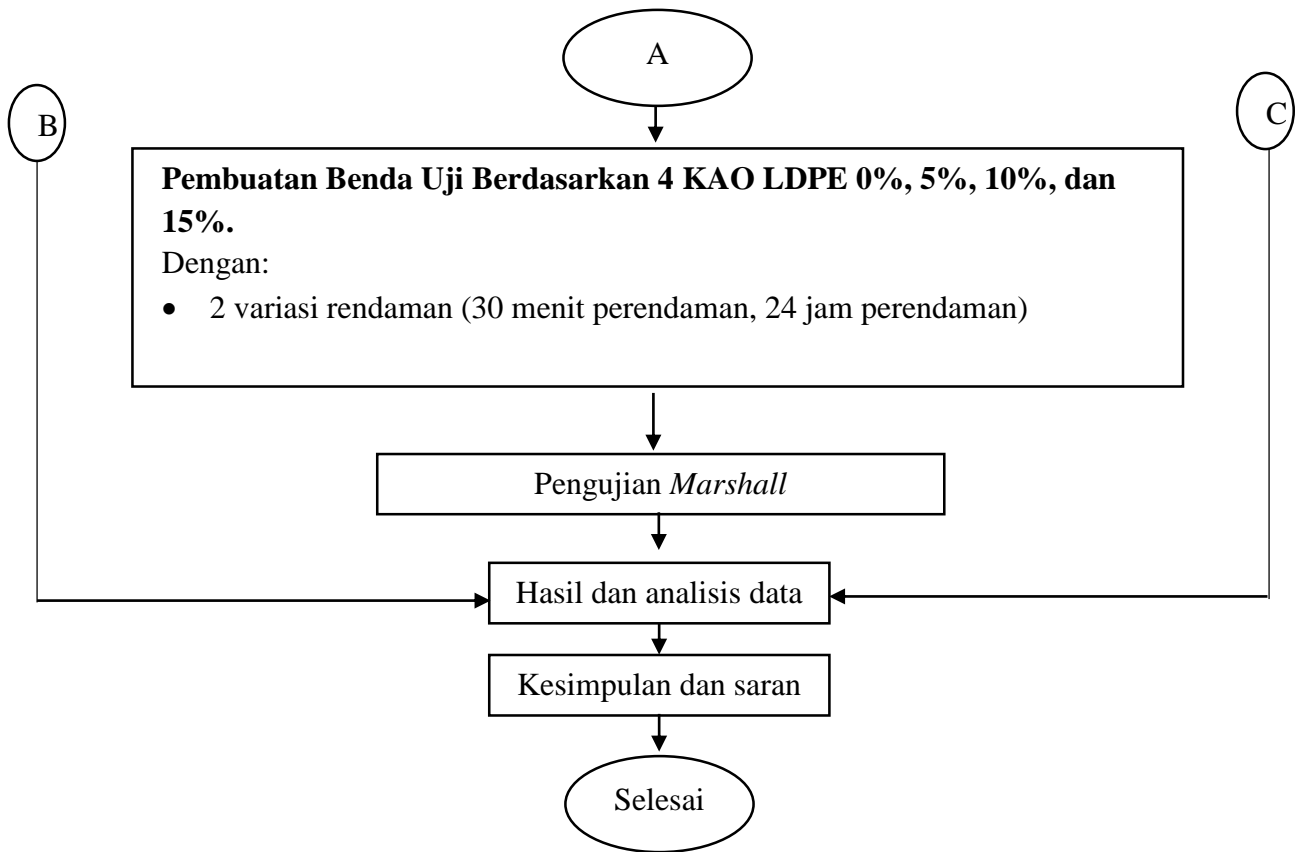
Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif dalam peningkatan stabilitas juga parameter marshall lainnya pada campuran aspal, dan menjadi solusi atas masalah sampah plastik LDPE.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.



Gambar 3.2. Diagram alir penelitian (lanjutan).

## B. Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Laboratorium Jalan Raya Teknik Sipil Universitas Lampung.



Gambar 3.3. Laboratorium inti jalan raya.

### C. Bahan-Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan sebagai berikut:

1. Agregat kasar

Berdasarkan ketentuan Pusjatan (2019) agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat yang tertahan saringan No. 8 (2,36 mm).



Gambar 3.4. Agregat kasar.

2. Agregat halus

Berdasarkan Pusjatan (2019) agregat halus yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm).



Gambar 3.5. Agregat halus.

### 3. Filler

Filler yang digunakan sebagai pengisi rongga antar agregat halus dan agregat kasar dalam penelitian ini adalah abu batu yang lolos saringan No. 200.



Gambar 3.6. Filler/Pengisi.

### 4. Aspal

Jenis aspal yang dipakai dalam pembuatan bahan adalah aspal pertamina dengan penetrasi 60/70.



Gambar 3.7. Aspal penetrasi 60/70.

### 5. Plastik *LDPE* (*Low Density Polyethylene*)

Pada penelitian ini digunakan bahan tambah yakni berupa plastik *LDPE* (*Low Density Polyethylene*).





Gambar 3.8. Plastik LDPE.

#### D. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Satu set alat saringan/ayakan (*Sieve*)

Alat saringan digunakan untuk memisahkan gradasi agregat berdasarkan ukuran.

2. Alat uji pemeriksaan agregat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini untuk menguji agregat antara lain alat pengering (oven), timbangan elektrik, dan alat uji untuk berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas).

3. Alat uji karakteristik campuran agregat dan aspal

Uji karakteristik campuran agregat dilakukan dengan metode *Marshall*, peralatan yang digunakan antara lain:

- a. Alat tekan *Marshall* yakni alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 kN (= 5000 lbf) dan flowmeter. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, sedangkan flowmeter untuk mengukur kelelahan plastis atau flow.
- b. Alat cetak sample berbentuk silinder yang memiliki diameter 4 inchi (10,16 cm) tinggi 3 inchi (7,5 cm).

- c. Arloji (*dial*) tekan dengan ketelitian 0,0025 mm.
- d. *Marshall Automic Compactor* yang dipakai dalam memadatkan sampel dengan melakukan tumbukan sebanyak 75 kali pada setiap sisi sampel.
- e. *Ejector* merupakan alat yang digunakan untuk mengeluarkan benda uji sesudah dipadatkan menggunakan *Marshall Automic Compactor*.
- f. Bak perendam (*water bath*) yang dilengkapi dengan suhu pengatur.
- g. Alat pembantu lainnya berupa wajan penggorengan, sendok pencampur, kompor, *Oven*, *Thermometer*, sarung tangan kain, kain lap, timbangan elektrik, ember, jangka sorong, pan, dan *Tipe-x* yang digunakan untuk menandai benda uji.



Gambar 3. 9 . Alat Uji *Marshall*

Peralatan yang dipakai pada penelitian ini berpatok pada standar pembuatan benda uji *Marshall*.

## **E. Prosedur Penelitian**

Prosedur penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

### 1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan sebagai landasan dan sumber teori yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Referensi yang digunakan berupa buku, jurnal, artikel, dan laporan penelitian terdahulu.

### 2. Penyiapan bahan penelitian

Penyiapan bahan penelitian yakni berupa agregat kasar, agregat halus, *filler*, aspal penetrasi 60/70, dan bahan tambahan berupa plastik jenis *LDPE* (*Low Density Polyethylene*), dan semua bahan yang dibutuhkan. Lalu kemudian dilakukan pengujian.

### 3. Pengujian bahan

Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik dan sifat material apakah telah sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan. Pengujian bahan yang dilakukan antara lain:

#### a. Agregat kasar, agregat halus, dan filler

Pengujian agregat dilakukan agar komposisi gradasi sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga (2018). Pada agregat kasar, agregat halus, dan filler. Dilakukan pengujian analisa saringan, berat jenis, dan penyerapan. Standar pengujian mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga (2018).

Tabel 3.1. Standar Pemeriksaan Agregat

No.	Jenis Pengujian	Standar Uji
1	Berat Jenis (Berat jenis bulk, Berat jenis SSD dan Berat jenis semu) dan Penyerapan agregat halus	SNI 03-1970-1990
2	Berat Jenis (Berat jenis bulk, Berat jenis SSD dan Berat jenis semu) dan Penyerapan agregat kasar	SNI 03-1969-1990

Tabel 3.2. Standar Pemeriksaan Agregat (Lanjutan)

3	Los Angeles Test	SNI 03-2417-2008
4	Aggregate Impact Value Test (AIV)	BS 812: Part 3: 1975
5	Aggregate Crushing Value Test (AIV)	BS 812: Part 3: 1975

*Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6.*

b. Aspal penetrasi 60/70

Pengujian aspal dilakukan dengan pengujian penetrasi, titik lembek, daktilitas, berat jenis, dan kehilangan berat. Pengujian dilakukan sesuai standar pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Standar Pengujian Aspal

No	Jenis Pengujian	Standar uji
1	Penetrasi 25°C (mm)	SNI 06-2456-1991
2	Titik lembek (°C)	SNI 06-2434-1991
3	Berat jenis	SNI 06-2441-1991
4	Kehilangan berat	SNI 06-2440-1991
5	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 06-2432-1991

*Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6.*

#### 4. Perancangan campuran benda uji

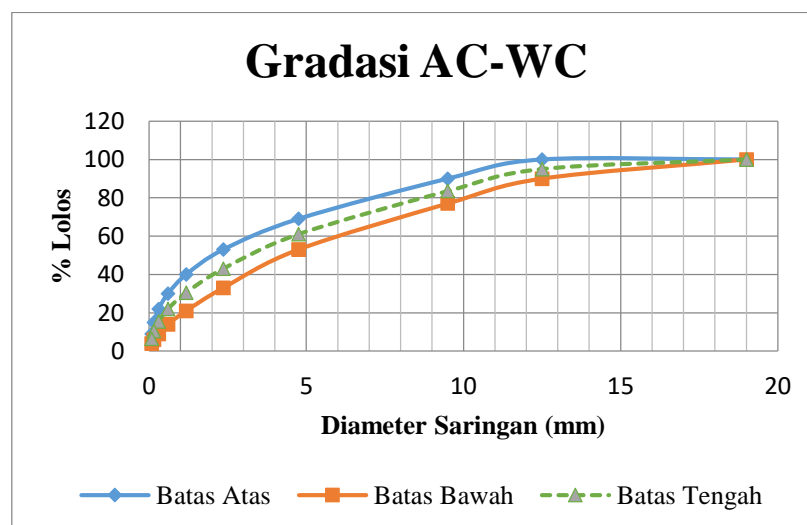
Sebelum pembuatan benda uji perlu ditentukan gradasi agregat yang akan direncanakan agar sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan yakni Bina Marga 2018. Adapun rencana gradasi agregat yang digunakan menggunakan gradasi batas tengah dan dapat terlihat pada tabel 3.5. di bawah.

**a. Perancangan gradasi agregat.**

Rencana gradasi agregat pada penelitian ini menggunakan gradasi batas tengah. Untuk setiap ukuran saringan diambil persen berat tertahan sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan. Sehingga didapatkan berat total persampel sebesar 1000 gr. Adapun detail rencana gradasi agregat dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan Gambar 3.10.

Tabel 3.4. Rencana Gradasi Agregat Aspal AC-WC

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Lolos(gr)	% Berat Tertahan (gr)
19	100	0
12,5	95	50
9,5	83,5	115
4,75	61	225
2,36	43	180
1,18	30,5	125
0,6	22	85
0,3	15,5	65
0,15	10,5	50
0,075	6,5	40
pan	0	65
total		1000



Gambar 3.10. Rencana gradasi campuran aspal AC-WC.

### b. Perhitungan komposisi gradasi campuran aspal AC-WC

Pada penelitian ini, gradasi yang digunakan merupakan gradasi batas tengah. Berikut merupakan detail kebutuhan agregat pada sampel.

Tabel 3.5. Kebutuhan Agregat Pada Sampel.

No. Saringan (mm)	% Lolos Kumulatif	%Tertahan		Berat Tertahan Individu (gr)	Berat Total Agregat (gr)
		Kumulatif	Individu		
19	100	0	0	0	0
12,5	95	5	5	50	3500
9,5	83,5	16,5	11,5	115	8050
4,75	61	39	22,5	225	15750
2,36	43	57	18	180	12600
1,18	30,5	69,5	12,5	125	8750
0,6	22	78	8,5	85	5950
0,3	15,5	84,5	6,5	65	4550
0,15	10,5	89,5	5	50	3500
0,075	6,5	93,5	4	40	2800
pan	0	100	6,5	65	4550
Total			100	1000	

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa berat total agregat persampel yang digunakan adalah 1000 gr. Berat total agregat persampel didapat dari berat total tertahan individu yang di ambil pada setiap ukuran saringan yang ditentukan sesuai dengan gradasi yang digunakan, yakni gradasi batas tengah.

Sampel agregat kemudian akan dioven untuk mendapatkan berat agregat setelah oven, kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan berat aspal yang dibutuhkan sesuai dengan persen aspal yang diinginkan.

### c. Mencari kadar aspal optimum (KAO)

Langkah pertama yang dilakukan dalam tahap ini adalah menentukan  $P_b$ , yaitu kadar aspal yang digunakan sebagai perkiraan awal kadar aspal rancangan yang dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$P_b = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% FF) + K$$

Keterangan:

P <sub>b</sub>	=	Perkiraan kadar aspal optimum
CA	=	Nilai persentase agregat kasar
FA	=	Nilai persentase agregat halus
FF	=	Nilai persentase filler
K	=	Konstanta (kira-kira 0,5 – 1,0)

Setelah dilakukan perhitungan didapat nilai  $P_b = 6$ , diambil 5 kadar aspal yang ditentukan dengan nilai  $P_b$  sebagai nilai tengah, kemudian diambil 4 kadar aspal berbeda lainnya yaitu  $\pm 0,5$  dengan ketentuan :  $P_b - 1$ ,  $P_b - 0,5$ ,  $P_b$ ,  $P_b + 0,5$ ,  $P_b + 1$ . Maka kadar aspal rencana yang digunakan adalah sebesar 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%.

**d. Pembuatan dan pengujian karakteristik dan parameter *Marshall* campuran aspal.**

- I. Menimbang agregat sesuai dengan persentase agregat campuran yang telah dihitung, yaitu sebesar 1000 gr persampel. Kemudian benda uji dibuat sebanyak 3 buah pada masing-masing variasi Kadar Aspal rencana dan kadar LDPE.
- II. Kemudian agregat dimasukkan kedalam oven selama  $\pm 4$  jam, sehingga didapatkan berat kering agregat. Kemudian kadar aspal ditentukan berdasarkan berat agregat setelah dioven.
- III. Agregat dicampurkan dengan aspal sesuai dengan kadar aspal rencana. Lalu kemudian dilakukan pemanasan menggunakan kompor sambil terus dilakukan pengadukan agar aspal dapat menyelimuti agregat secara merata.
- IV. Campuran dimasukkan ke dalam cetakan per  $1/3$  dan  $1/2$  tinggi cetakan, kemudian dipadatkan menggunakan pemadat pipih yang dimaksudkan agar tidak terjadi rongga pada sampel dan melakukan pemadatan

dengan alat *compactor* terhadap sampel sebanyak 75 tumbukan pada sisi atas dan sisi bawah dengan suhu 150°C.

- V. Kemudian benda uji didiamkan selama  $\pm 24$  jam agar suhu pada benda uji mengalami penurunan, kemudian benda uji dikeluarkan menggunakan *ejector* dan diberi kode sampel sesuai dengan jenis sampel.
- VI. Mengukur tinggi benda uji menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,1 mm pada ketiga sisi benda uji. Lalu dilakukan penimbangan untuk mendapatkan berat benda uji kering.
- VII. Merendam benda uji ke dalam bak air selama 30 menit dan 24 jam untuk mengetahui kadar penyerapan air.
- VIII. Setelah itu menimbang benda uji dalam air untuk mengetahui berat jenuh pada masing-masing sampel.
- IX. Kemudian benda uji dikeringkan menggunakan kain lap, lalu ditimbang kembali untuk mendapatkan berat benda uji kering permukaan jenuh atau SSD.

e. Pengujian menggunakan alat *Marshall*

Pengujian *Marshall* dilakukan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan (*flow*) pada campuran beraspal yang mengacu pada SNI 06-2489-1991 dan akan dilakukan pengujian sesuai dengan kondisi cuaca di Indonesia yang mempunyai dua musim yaitu musim panas dan musim penghujan, pengujian akan disimulasikan dengan suhu perendaman 60°C. Berikut langkah-langkah pengujian dengan alat *Marshall*:

- I. Setelah diketahui berat dan tinggi pada masing-masing sampel, lalu direndam dalam bak perendaman (*water bath*) pada suhu 60°C selama 30 menit.
- II. Bagian dalam kepal penguji dibersihkan dan dilumasi agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian.



- III. Kemudian benda uji dikeluarkan dari bak perendaman dan diletakkan dalam cincin dan memasang *flow meter*, lalu dipasangkan kembali pada mesin penekan *Marshall*. Penekan dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji, dan mengatur jarum arloji pada angka nol.
- IV. Pembebanan dilakukan dengan kecepatan konstan 2 inch (51 mm) per menit, dibaca pada saat nilai stabilitas berhenti dan jarum mulai kembali berputar menurun. Sehingga didapatkan nilai stabilitas *Marshall*. Pada saat itu pula dibaca arloji kelelahan.
- V. Kemudian kepala penekan diambil bagian atas dibuka dan benda uji dikeluarkan.
- VI. Melakukan pengujian berat jenis maksimum (Gmm) pada setiap sampel perendaman, sesuai dengan SNI 03-6893-2002.

## **F. Pengolahan dan pembahasan hasil**

Berdasarkan data yang telah didapatkan pada saat penelitian di Laboratorium, akan dilakukan analisa pengolahan serta perhitungan karakteristik *Marshall* campuran aspal lapis permukaan dengan penambahan bahan limbah plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*).

Hasil penelitian juga diperoleh nilai karakteristik *Marshall* terhadap campuran aspal lapis permukaan akibat variasi penambahan limbah plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*). Analisa pada penelitian ini menggunakan parameter nilai VIM, stabilitas, kelelahan (*flow*), dan kekakuan. Dari nilai-nilai tersebut akan memperlihatkan seberapa besar pengaruh variasi penambahan limbah plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) terhadap campuran aspal lapis permukaan. Sehingga akan mendapatkan hasil kesimpulan dan saran.

## IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Hasil Pengujian Agregat

Pengujian material yang dilakukan, bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan sifat material yang digunakan apakah sudah memenuhi spesifikasi atau tidak. Pengujian material yang dilakukan mengacu pada Direktorat jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2018, dan modul Petunjuk Praktikum Departemen Infrastruktur Sipil yang berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Agregat

No	Jenis Pengujian	Satuan	Syarat	Hasil
A	Agregat Kasar (SNI 03-1969-1990)			
1	Berat jenis <i>bulk</i>	gr/cm	>2,5	2,6620
2	Berat jenis SSD		>2,5	2,6699
3	Berat jenis semu		>2,5	2,6831
4	Penyerapan	%	<3	0,2960
B	Agregat Halus (SNI 03-1969-1990)			
1	Berat jenis <i>bulk</i>	gr/cm	>2,5	2,6273
2	Berat jenis SSD		>2,5	2,6573
3	Berat jenis semu		>2,5	2,7084
4	Penyerapan	%	<3	1,1409
C	<i>Los Angeles Test</i> (SNI 03-2417:2008)	%	Maks 40	15,772
D	<i>Aggregate Impact Value</i> (BS 812:part 3 : 1975)	%	Maks 30	6,013
E	<i>Aggregate Crushing Value</i> (BS 812:part 3 : 1975)	%	Maks 30	0,91

Dalam penelitian ini, pengujian agregat yang dilakukan terbagi menjadi beberapa tahap. Antara lain:

1. Berat jenis penyerapan agregat kasar dan agregat halus.

Berat jenis adalah nilai perbandingan antara massa dan volume dari agregat. Berat jenis jenuh (*bulk specific gravity*) ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) merupakan bagian kepadatan relatif dari bagian padat yang terbentuk dari campuran partikel kecuali pori-pori atau rongga udara yang menyerap air. Nilai penyerapan digunakan dalam perhitungan perubahan berat agregat karena penyerapan air oleh pori-pori, dibanding dengan kondisi kering. Nilai dari berat jenis sendiri mempengaruhi nilai dari karakteristik Marshall, yaitu pada nilai stabilitas dimana semakin besar nilai berat jenis agregat maka semakin kecil rongga pada agregat sehingga campuran akan semakin berat dan stabil.

2. *Aggregate Compact Value (ACV)*

Pengujian kekuatan agregat terhadap tekanan ACV merupakan simulasi pemberian beban terhadap suatu benda uji agregat. Prinsip percobaan ini adalah benda uji agregat diberi kenaikan tekanan tertentu selama beberapa waktu.

3. *Aggregate Impact Value (AIV)*

Nilai agregat impact value (AIV) adalah persentase perbandingan antara agregat yang hancur dengan jumlah sampel yang ada. Agregat yang hancur dinyatakan dengan jumlah agregat yang lolos saringan 2,36 mm.

4. Keausan agregat atau abrasi dengan mesin *Los Angeles*

Pengujian abrasi dengan mesin Los Angeles adalah suatu cara pengujian agregat dengan pukulan dan gesekan. Pada saat pencampuran di mesin Los Angeles, agregat akan mengalami gesekan antara agregat satu dengan

yang lain. Jika nilai abrasinya besar maka agregat yang berada di mesin Los Angeles akan semakin banyak yang pecah. Nilai karakteristik Marshall yang dipengaruhi oleh keausan agregat adalah nilai stabilitas dikarenakan semakin besar nilai keausan agregat maka kinerja campuran akan semakin menurun.

## 2. Hasil Pengujian Aspal

Pengujian aspal yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain berat jenis, penetrasi, daktilitas, dan titik lembek. Hasil pengujian aspal dengan campuran *Low Density Polythylene* (LDPE) dengan kadar campuran 0%, 5%, 10%, dan 15% dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Aspal.

No	Kadar LDPE	Pengujian			
		Berat Jenis (gr/cm <sup>3</sup> )	Penetrasi (mm)	Daktilitas (cm)	Titik Lembek (°C)
1	0%	1,0200	65	127	48
2	5%	1,0215	56	113	56
3	10%	1,0465	49	106	58
4	15%	1,0791	42	94	62

Pengujian aspal yang dilakukan dalam penelitian ini untuk mengetahui apakah aspal yang sudah dicampur menggunakan campuran plastic *Low Density Polythylene* (LDPE) sudah memenuhi spesifikasi antara lain:

### A. Berat jenis

Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat jenis aspal padat dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu 25° C atau 15,5° C. Berat jenis dapat dipengaruhi oleh sifat fisik dari aspal itu sendiri. Nilai berat jenis aspal akan mempengaruhi nilai berat jenis teori max yang juga

berhubungan dengan *Density* (kepadatan) yang nantinya juga akan mempengaruhi nilai VIM dan VMA.

#### B. Penetrasi

Angka yang menunjukkan kekerasan aspal yang diukur dari kedalaman jarum penetrasi yang diberi beban 100 gram selama 5 detik pada suhu ruang 25°C. Semakin besar nilai penetrasinya maka semakin lunak aspal tersebut, dan begitupun sebaliknya.

#### C. Daktilitas

Angka yang menunjukkan panjang aspal yang ditarik pada suhu 25° C dengan kecepatan 5 cm/menit hingga aspal tersebut putus. Daktilitas yang tinggi mengindikasikan bahwa aspal semakin lentur, sehingga semakin baik digunakan sebagai bahan ikat perkerasan.

#### D. Titik lembek

Angka yang menunjukkan suhu (temperatur) ketika aspal menyentuh plat baja. Titik lembek juga mengindikasikan tingkat kepekaan aspal terhadap perubahan suhu, di samping itu titik lembek juga dipengaruhi oleh kandungan parafin (lilin) yang terdapat dalam aspal. Semakin tinggi kandungan parafin pada aspal, maka semakin rendah titik lembeknya dan aspal semakin peka terhadap perubahan suhu.

### 3. Penentuan Kadar Aspal Optimum

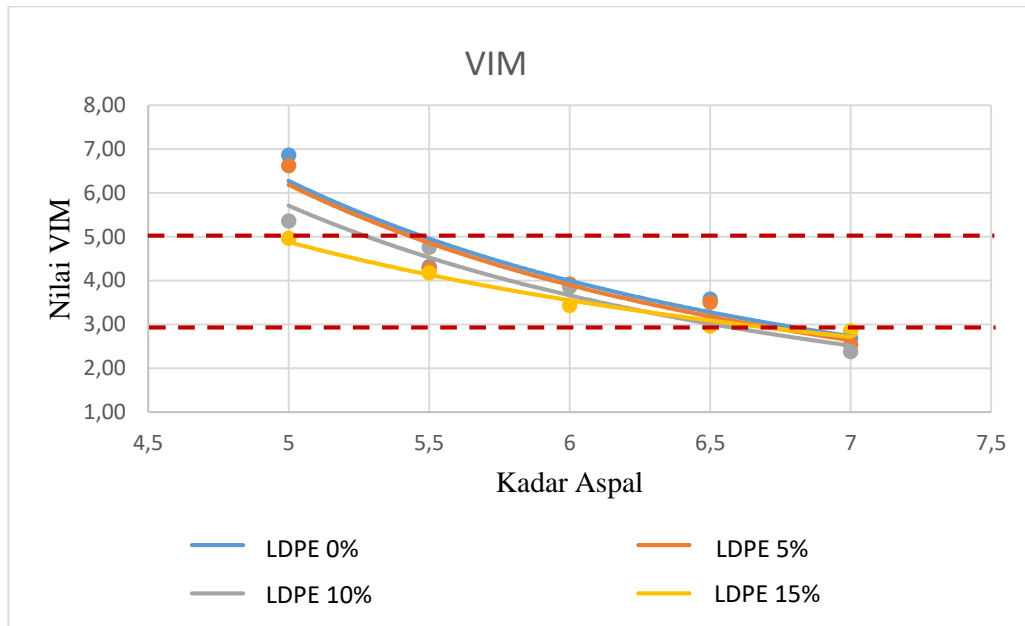
Pengujian Marshall dilakukan berdasarkan SNI 06-2489-1991, dari pengujian *Marshall* akan dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai-nilai karakteristik *Marshall* antara lain stabilitas, kelelahan (*flow*), *Marshall Quotient* (MQ), rongga antar agregat (VMA), rongga dalam campuran (VIM), dan rongga terisi aspal (VFA). Kadar aspal optimum (KAO) adalah kadar aspal yang memiliki nilai stabilitas tertinggi dan juga memenuhi

persyaratan VIM, VMA, VFA, *flow*, dan juga MQ. Berikut adalah hasil pengujian nilai-nilai karakteristik marshall dengan campuran LDPE dengan kadar 0%, 5%, 10%, dan 15%:

Tabel 4.3. Rekapitulasi Nilai Parameter Marshall Dengan Campuran LDPE.

<b>Kadar Aspal (%)</b>	<b>Kadar LDPE</b>	<b>Stabilitas (Kg)</b>	<b>Flow (mm)</b>	<b>VMA (%)</b>	<b>VIM (%)</b>	<b>VFA (%)</b>	<b>MQ (kg/mm)</b>
	<b>Spesifikasi</b>	<b>&gt;800</b>	<b>2-4</b>	<b>&gt;15%</b>	<b>3-5</b>	<b>&gt;65</b>	<b>&gt;250</b>
	0%	1107,83	2,67	14,37	6,86	67,43	339,27
5	5%	1075,99	2,33	15,56	6,62	67,70	527,44
	10%	1209,97	2,70	16,26	5,36	59,44	408,63
	15%	1090,04	2,61	17,73	4,97	67,95	476,33
	<b>Rata-rata</b>	<b>1120,96</b>	<b>2,58</b>	<b>15,98</b>	<b>5,95</b>	<b>65,63</b>	<b>437,92</b>
	0%	1205,65	2,90	14,89	4,31	76,89	373,97
5,5	5%	1241,49	2,67	16,52	4,28	72,14	541,30
	10%	1307,90	2,90	16,83	4,76	69,45	441,18
	15%	1312,35	2,80	18,54	4,18	78,27	469,96
	<b>Rata-rata</b>	<b>1266,84</b>	<b>2,82</b>	<b>16,70</b>	<b>4,381667</b>	<b>74,19</b>	<b>456,60</b>
	0%	1379,01	3,23	15,36	3,92	77,36	375,99
6	5%	1406,02	2,87	16,86	3,91	76,47	550,26
	10%	1546,85	3,17	18,09	3,85	74,96	465,30
	15%	1365,73	2,87	19,01	3,43	83,92	478,51
	<b>Rata-rata</b>	<b>1424,40</b>	<b>3,03</b>	<b>17,33</b>	<b>3,78</b>	<b>78,17</b>	<b>467,52</b>
	0%	1486,77	3,67	15,95	3,57	82,96	380,41
6,5	5%	1428,37	3,23	19,71	3,50	79,49	555,66
	10%	1572,56	3,57	19,34	3,07	80,27	498,88
	15%	1392,43	3,37	20,65	2,96	87,87	413,66
	<b>Rata-rata</b>	<b>1470,03</b>	<b>3,46</b>	<b>18,91</b>	<b>3,28</b>	<b>82,65</b>	<b>462,15</b>
	0%	1564,27	3,90	17,45	2,68	87,41	410,34
7	5%	1477,54	3,47	22,27	2,53	80,76	541,28
	10%	1610,21	3,67	22,21	2,38	84,19	540,98
	15%	1428,02	3,57	23,55	2,85	88,49	401,96
	<b>Rata-rata</b>	<b>1520,01</b>	<b>3,65</b>	<b>21,37</b>	<b>2,61</b>	<b>85,21</b>	<b>473,64</b>

## A. VIM



Gambar 4.1. Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Nilai VIM.

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa pada LDPE dengan kadar 0%, nilai VIM yang didapat pada rentang kadar aspal 5% sampai 5,5% di atas batas maksimum yang ditentukan oleh spesifikasi. Sedangkan nilai pada kadar aspal 5,5% sampai 6,8% memiliki nilai VIM sesuai dengan spesifikasi. Nilai VIM pada kadar aspal 6,8% sampai 7% memiliki nilai dibawah syarat minimum.

Pada penambahan LDPE dengan kadar 5%, nilai VIM yang didapat pada rentang kadar aspal 5% sampai 5,5% memiliki nilai VIM diatas nilai maksimum sehingga tidak memenuhi spesifikasi. Sedangkan nilai pada kadar aspal 5,5% sampai 6,6% memiliki nilai sesuai spesifikasi. Dan nilai pada kadar aspal 6,6% sampai 7% memiliki nilai dibawah syarat minimum.

Pada penambahan LDPE dengan kadar 10%, nilai VIM yang didapat pada rentang kadar aspal 5% sampai 5,3% memiliki nilai di atas spesifikasi.

Sedangkan pada kadar aspal 5,3% sampai 6,5% memenuhi spesifikasi. Dan pada kadar aspal 6,5% sampai 7% di bawah spesifikasi minimum.

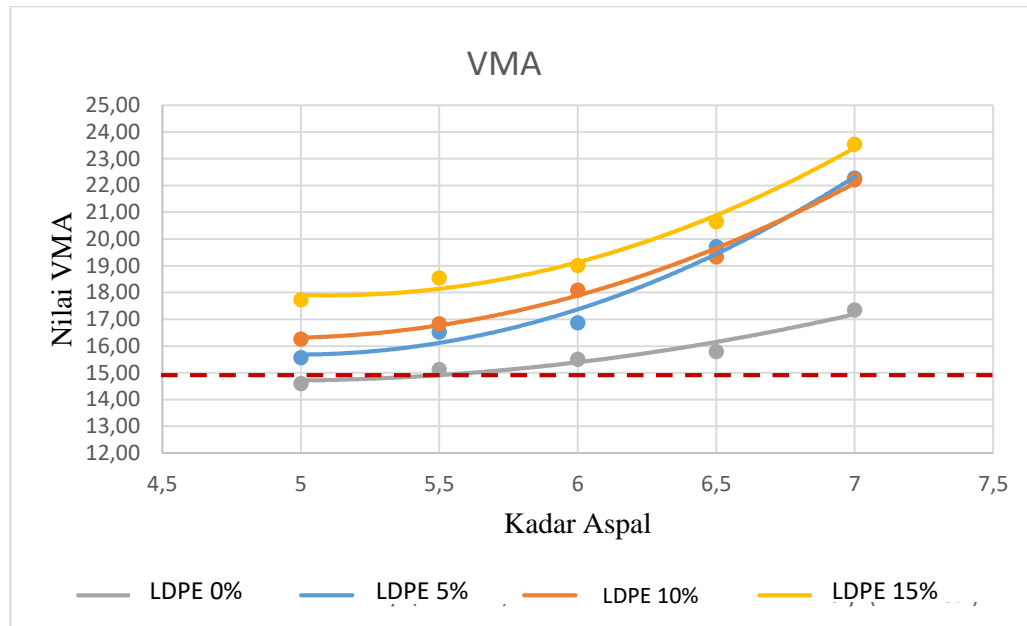
Pada penambahan LDPE dengan kadar 15%, nilai VIM yang didapat pada rentang kadar aspal 5% sampai 6,5% memenuhi nilai spesifikasi. Sedangkan nilai pada kadar aspal 6,5% sampai 7% memiliki nilai dibawah nilai minimum sehingga nilai tersebut tidak memenuhi spesifikasi.

Spesifikasi bina marga 2018 memberikan syarat yaitu sebesar 3 – 5 % untuk nilai VIM. Nilai VIM yang baik untuk digunakan ialah nilai yang berada dalam rentang spesifikasi agar dapat digunakan dilapangan dan dapat dilalui beban lalu lintas sesuai dengan umur rencana. Nilai VIM yang terlalu besar dapat meningkatkan proses oksidasi aspal yang akan mempercepat penuaan aspal. Sedangkan jika nilai VIM yang terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan mengalami bleeding jika mengalami kenaikan suhu.

Nilai VIM yang didapat dari hasil pengujian mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar campuran LDPE yang ditambahkan, dikarenakan aspal yang ditambahkan dengan LDPE menjadi lebih kaku sehingga rongga pada campuran tidak terisi dengan sempurna.



## B. VMA



Gambar 4.2. Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Nilai VMA

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa pada kadar LDPE 0%, nilai VMA yang didapat pada rentang kadar aspal 5% sampai 5,5% memiliki nilai di bawah spesifikasi. Sedangkan nilai pada rentang kadar aspal 5,5% sampai 7% memiliki nilai memenuhi syarat minimum.

Pada penambahan LDPE dengan kadar 5%, nilai VMA yang didapat pada rentang kadar aspal 5% sampai 7% memenuhi spesifikasi.

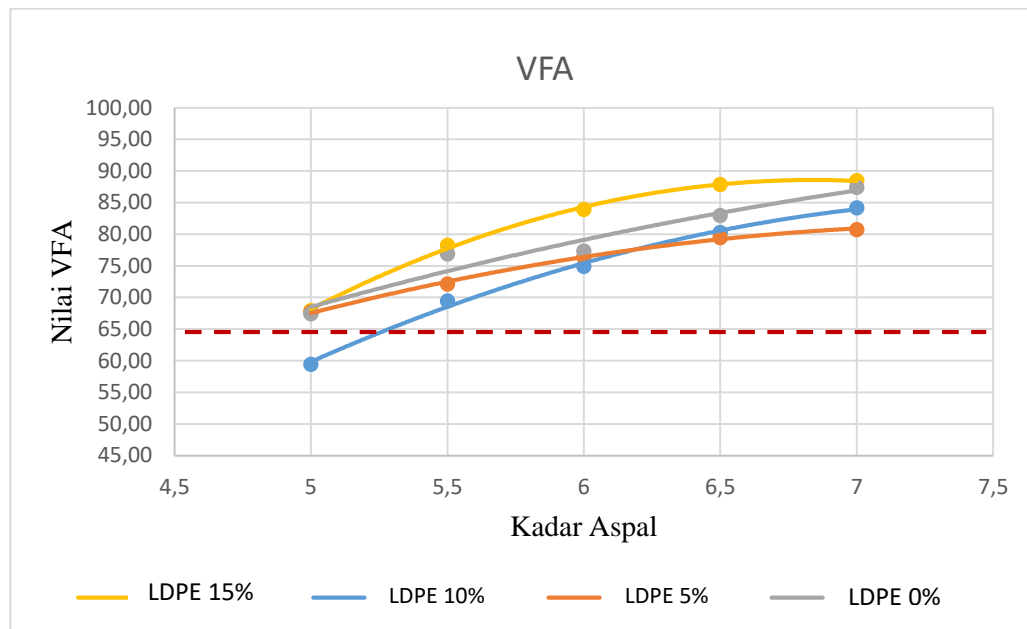
Pada penambahan LDPE dengan kadar 10%, nilai VMA yang didapat pada kadar aspal 5% sampai 7% memenuhi nilai spesifikasi.

Pada Penambahan PET dengan kadar 15%, nilai VMA yang didapat pada kadar aspal 5% sampai 7% memenuhi nilai spesifikasi.

Spesifikasi bina marga 2018 memberikan syarat minimum yaitu sebesar 15% untuk nilai VMA.

Berdasarkan hasil yang didapat dari hasil percobaan, nilai VMA mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar LDPE. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh serat halus plastik terhadap aspal yang membuat sifat aspal menjadi plastis, dengan sifat aspal yang lebih plastis maka nilai VMA juga akan menjadi lebih tinggi. Semakin tinggi nilai VMA akan menjadikan campuran lebih tahan terhadap air.

### C. VFA



Gambar 4.3. Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Nilai VFA

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa pada LDPE dengan kadar 0%, nilai VFA yang didapat pada rentang kadar aspal 5% sampai 7% memiliki nilai yang memenuhi spesifikasi.

Pada penambahan LDPE dengan kadar 5% nilai VFA yang didapat pada rentang kadar aspal 5% sampai 7% memiliki nilai memenuhi spesifikasi.

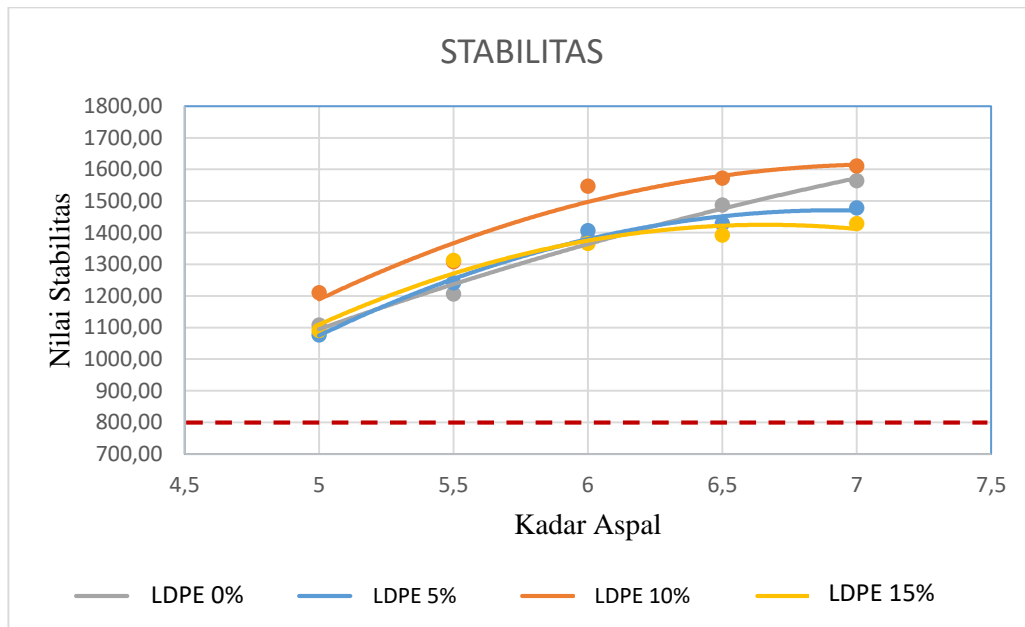
Pada penambahan LDPE dengan kadar 10% nilai VFA yang didapat pada rentang kadar aspal 5% sampai 5,3% memiliki nilai di bawah spesifikasi.

Dan pada rentang kadar aspal 5,3% sampai 7% memiliki nilai yang memenuhi spesifikasi.

Pada penambahan LDPE dengan kadar 15% nilai VFA yang didapat pada kadar aspal 5% sampai 7% memiliki nilai yang memenuhi spesifikasi.

Spesifikasi Bina Marga 2018 memberikan syarat minimum yaitu sebesar 65% untuk nilai VFA. Dari hasil pengujian, nilai VFA pada campuran yang ditambahkan LDPE mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar LDPE. Hal tersebut diakibatkan karena dengan penambahan LDPE, aspal akan semakin getas sehingga aspal kurang mengisi rongga-rongga yang ada.

#### D. Stabilitas



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Nilai Stabilitas.

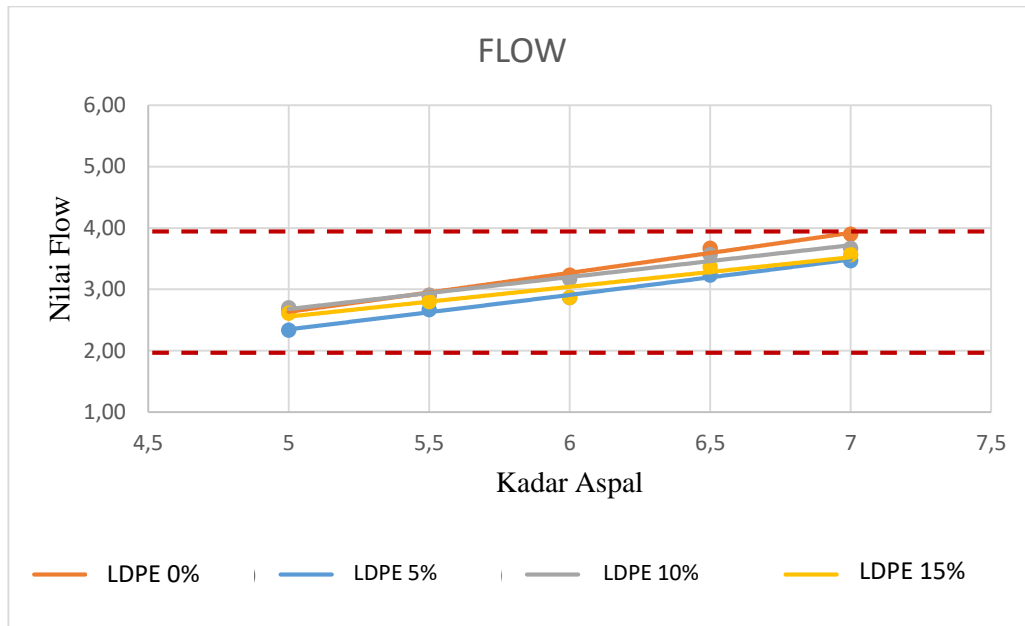
Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa pada LDPE dengan kadar 0%, nilai stabilitas yang didapat pada rentang kadar aspal 5% sampai 7% memenuhi spesifikasi

Pada penambahan LDPE dengan kadar 5%, nilai stabilitas yang didapat pada rentang kadar aspal 5% sampai 7% memiliki nilai yang memenuhi spesifikasi.

Pada penambahan LDPE dengan kadar 10%, nilai stabilitas yang didapat pada rentang kadar aspal 5% sampai 7% memenuhi spesifikasi.

Pada penambahan LDPE dengan kadar 15%, nilai stabilitas yang didapat pada rentang kadar aspal 5% sampai 7% memiliki nilai stabilitas yang memenuhi spesifikasi. Spesifikasi Bina Marga 2018 memberikan syarat minimum yaitu sebesar 800 untuk nilai stabilitas.

Dari pengujian yang dilakukan, nilai stabilitas mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar LDPE yang ditambahkan. Peningkatan pada nilai stabilitas diakibatkan karena dengan ditambahkan LDPE sebagai bahan additive mengalami kelelahan sehingga ikatan antara aspal dengan agregat semakin kuat. Nilai stabilitas yang terlalu tinggi akan mengakibatkan penebalan pada selaput aspal sehingga aspal mudah bergeser dan dapat menyebabkan deformasi campuran.

E. *Flow*

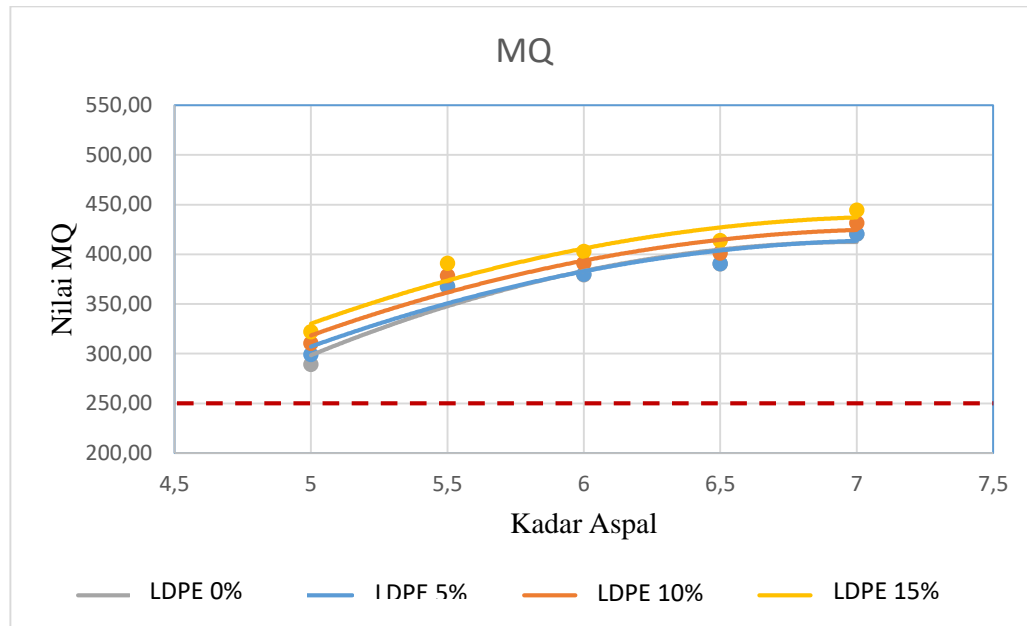
Gambar 4.5. Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Nilai *Flow*.

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa pada LDPE dengan kadar 0% sampai 15% nilai flow pada semua kadar aspal telah memenuhi spesifikasi Bina Marga. Spesifikasi Bina Marga 2018 memberikan syarat yaitu sebesar 2,0 – 4,0 mm untuk nilai flow.

Nilai flow mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar LDPE yang ditambahkan. Hal tersebut dikarenakan dengan menambahkan LDPE mengakibatkan nilai dari penetrasi aspal semakin turun. Dapat diartikan bahwa aspal menjadi semakin keras.

Adapun nilai titik lembek yang meningkat seiring dengan penambahan kadar PET yang menyebabkan aspal menjadi kurang peka terhadap perubahan suhu.

### F. Marshall Qutient

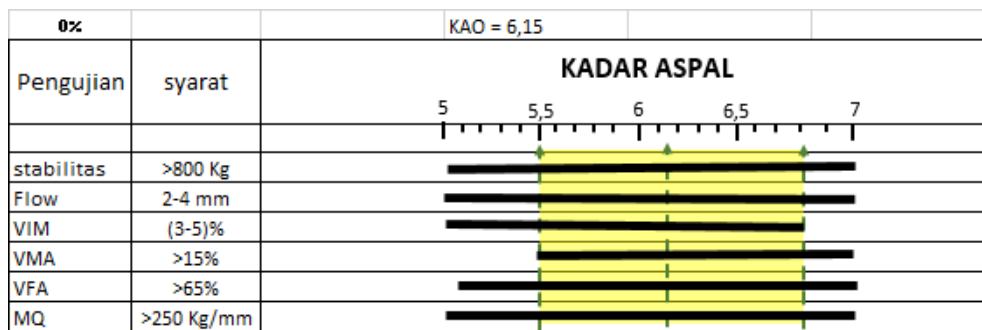


Gambar 4.6. Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Nilai MQ

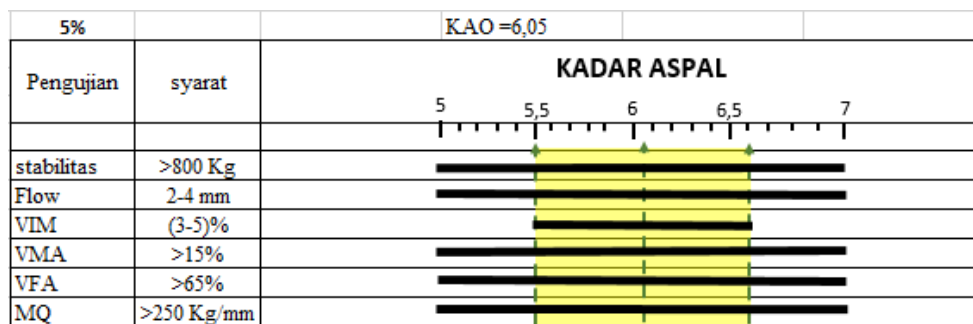
Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa pada LDPE dengan kadar 0% sampai 15% nilai Marshall Quotient pada semua kadar aspal telah memenuhi spesifikasi Bina Marga. Spesifikasi Bina Marga 2018 memberikan syarat minimum yaitu sebesar 250 kg/mm untuk nilai Marshall Quotient.

Nilai Marshall Quotient mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar LDPE yang disebabkan karena adanya penambahan nilai stabilitas dan juga penurunan pada nilai flow, sehingga nilai bagi dari stabilitas dan flow menjadi semakin besar.

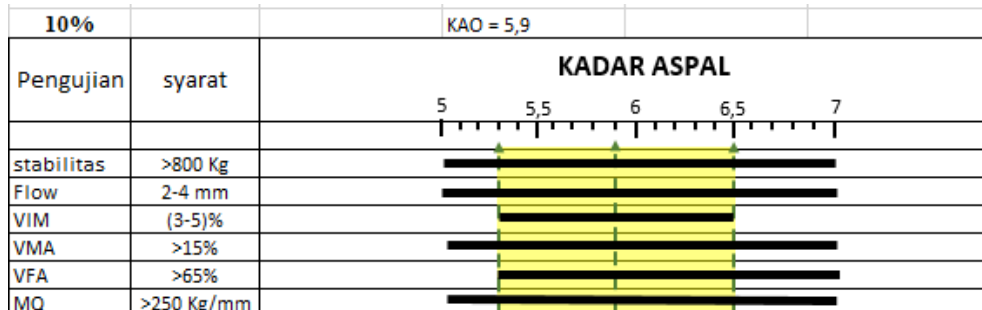
Dari hasil Marshall test dapat dilihat kadar aspal yang memenuhi persyaratan untuk lapisan AC-WC sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018. Kemudian batas spesifikasi tersebut diplot berdasarkan nilai kadar aspalnya ke dalam diagram batang (*Bar chart*) dan diperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) pada LDPE dengan kadar 0%, 5%, 10%, dan 15%. Hasil perhitungan diagram batang KAO dapat dilihat pada tabel di bawah:



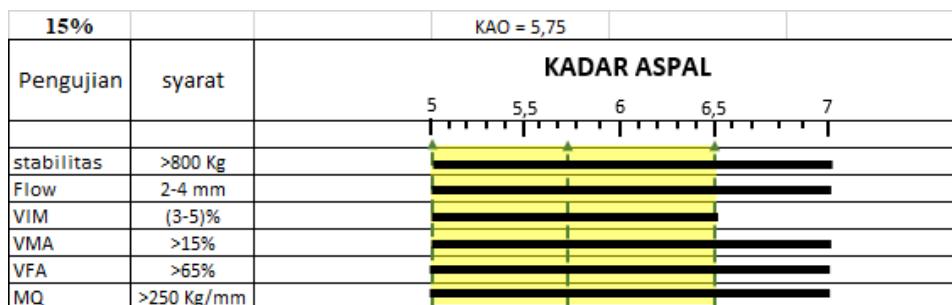
Gambar 4.7. Diagram Batang KAO 0%.



Gambar 4.8. Diagram Batang KAO 5%.



Gambar 4.9. Diagram Batang KAO 10%.



Gambar 4.10. Diagram Batang KAO 15%.

Pada kadar LDPE 0%, kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter Marshall sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan Bina Marga 2018 berada pada rentang 5,5% - 6,8%. Di ambil nilai kadar aspal dari hasil bagi penjumlahan kedua batas kadar aspal tersebut, sehingga didapat nilai 6,15%.

Pada kadar LDPE 5% kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter Marshall sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan Bina Marga 2018 berada pada rentang 5,5% - 6,6%. Di ambil nilai kadar aspal dari hasil bagi penjumlahan kedua batas kadar aspal tersebut, sehingga didapat nilai 6,05%.

Pada kadar LDPE 10% kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter Marshall sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan Bina Marga 2018 berada pada rentang 5,3% - 6,5%. Di ambil nilai kadar aspal dari hasil bagi penjumlahan kedua batas kadar aspal tersebut, sehingga didapat nilai 5,9%.

Pada kadar LDPE 15% kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter Marshall sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan Bina Marga 2018 berada pada rentang 5% - 6,5%. Di ambil nilai kadar aspal dari hasil bagi penjumlahan kedua batas kadar aspal tersebut, sehingga didapat nilai 5,75%.

Tabel 4.4. Kadar Aspal Optimum (KAO) dengan penambahan LDPE.

<b>Kadar LDPE</b>	<b>Kadar Aspal Optimum (KAO)</b>
0%	6,15%
5%	6,05%
10%	5,90%
15%	5,75%

Adanya penambahan LDPE pada campuran aspal mengakibatkan nilai KAO (Kadar Aspal Optimum) mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar PET. Hal tersebut disebabkan karena adanya perubahan parameter Marshall yang diakibatkan oleh penambahan LDPE, diantaranya peningkatan pada



nilai stabilitas, VIM, VMA, dan MQ juga adanya penurunan pada nilai flow dan VFA.

Nilai VFA yang mengalami penurunan, juga berpengaruh terhadap nilai KAO karena semakin menurun rongga yang terisi oleh aspal maka aspal yang dibutuhkan juga semakin sedikit sehingga menurunkan nilai KAO. Dengan adanya penurunan nilai KAO, maka penggunaan LDPE sebagai bahan tambah dapat dikatakan efektif karena jumlah aspal yang akan digunakan akan menjadi semakin sedikit.

#### **4. Indeks Kekuatan Sisa (IKS)**

Pengujian marshall ini dilakukan untuk mengetahui nilai perbandingan karakteristik marshall dengan rendaman selama 30 menit dan rendaman selama 24 jam. Pengujian marshall ini meninjau perubahan karakteristik terhadap pengaruh air, suhu, dan cuaca dengan menggunakan parameter stabilitas.

Didapat pula nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) yaitu perbandingan dari nilai stabilitas yang direndam selama waktu  $T_2$  dengan nilai stabilitas yang direndam selama waktu  $T_1$ . Pada pengujian ini menggunakan benda uji berdasarkan kadar aspal optimum (KAO) yang didapat dengan campuran LDPE 0%, 5%, 10%, dan 15%.

Metode pengujian yang dilakukan yaitu marshall dengan lama rendaman 30 menit dan 24 jam dalam pada suhu  $60^{\circ}\text{C}$ . Adapun hasil perbandingan nilai stabilitas dan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) campuran AC-WC dengan tambahan LDPE 0%, 5%, 10%, dan 15% dengan rendaman 30 menit dan dengan rendaman 24 jam dengan kadar aspal sesuai dengan nilai KAO yang didapat dari hasil perhitungan pada diagram batang dapat dilihat pada Tabel 4.5. berikut:

Tabel 4.5. Perbandingan Nilai Stabilitas pada setiap KAO dengan rendaman 30 menit 24 jam

Parameter <i>Marshall</i>	Kadar LDPE (%)	KAO (%)	Stabilitas (Kg)		Indeks Kekuatan Sisa (%)	
			30 Menit Rendaman	24 Jam Rendaman	30 Menit Rendaman	24 Jam Rendaman
	0%	6,15%	1092,24	1058,16	100%	96,88%
Stabilitas (Kg)	5%	6,05%	1198,81	1160,85	100%	96,83%
	10%	5,90%	1256,65	1221,70	100%	97,22%
	15%	5,75%	1361,28	1327,82	100%	97,54%

Berdasarkan Tabel 4.5, diperoleh perbandingan nilai stabilitas dengan rendaman selama 30 menit dengan rendaman selama 24 jam. Semakin banyak kadar LDPE yang ditambahkan akan semakin meningkatkan nilai stabilitas baik pada rendaman 30 menit maupun rendaman selama 24 jam sehingga nilai IKS juga cenderung mengalami peningkatan. Sedangkan semakin lama perendaman akan mengurangi nilai stabilitas karena pengaruh air akibat dari perendaman.

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa hasil indeks kekuatan sisa (IKS) pada campuran aspal dengan bahan tambah LDPE 0%, 5%, 10%, dan 15% memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar  $> 90\%$ .

## 5. Komparasi Dengan Penelitian Terdahulu

Limbah plastik dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah pada campuran aspal. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai beberapa karakteristik *Marshall* untuk setiap campuran dan variasi kadar aspal cenderung stabil. Artinya jika nilai karakteristiknya naik diikuti dengan kenaikan nilai karakteristik untuk setiap penambahan kadar aspal, demikian juga sebaliknya. Sedangkan penelitian sebelumnya (Razak dan Andi, 2016)

penggunaan plastik LDPE memberikan pengaruh yang tidak stabil pada campuran aspal, namun dengan kadar aspal yang berbeda.

Nilai VIM yang didapatkan memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, tetapi dengan kadar aspal yang berbeda pada setiap kadar LDPE. Perbedaan hasil nilai VIM berpengaruh pada perhitungan KAO pada setiap kadar LDPE. Sedangkan pada penelitian sebelumnya (Pandry 2014), Nilai VIM yang dihasilkan dari keempat variasi campuran AC-WC (0%, 2%, 4% dan 6% LDPE) hanya pada campuran 0% LDPE dengan kadar aspal 5,5 dan 6 % yang memenuhi spesifikasi yang ditetapkan.

Berdasarkan hasil yang didapat dari hasil percobaan, nilai VMA mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar LDPE. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh serat halus plastik terhadap aspal yang membuat sifat aspal menjadi plastis, dengan sifat aspal yang lebih plastis maka nilai VMA juga akan menjadi lebih tinggi. Semakin tinggi nilai VMA akan menjadikan campuran lebih tahan terhadap air. Sedangkan pada penelitian terdahulu (Anni 2021) Hasil pengujian menunjukkan bahwa Nilai VMA cenderung semakin menurun dengan bertambahnya kadar limbah plastik.

Penggunaan plastik LDPE sebagai bahan tambah pada campuran aspal juga menyebabkan kenaikan pada berat jenis dan titik lembek pada aspal, serta penurunan pada daktilitas dan penetrasi seiring dengan penambahan kadar plastik LDPE. Perbedaan karakteristik dan jenis plastik akan menghasilkan nilai pemeriksaan aspal yang berbeda-beda. Seperti pada penelitian sebelumnya (Nasution 2017) menghasilkan nilai yang lebih tinggi pada pemeriksaan, hal ini disebabkan jenis plastik yang digunakan yaitu PET memiliki mutu yang lebih tinggi dibandingkan dengan LDPE.

Penggunaan plastik LDPE menghasilkan peningkatan pada nilai stabilitas, VMA, dan MQ mengalami kenaikan, sedangkan nilai VIM, VFA, dan Flow mengalami penurunan. Penggunaan plastik yang berbeda juga digunakan pada

penelitian sebelumnya (Rahmawati 2015). Penggunaan plastik jenis PE dan HDPE menyebabkan peningkatan nilai *Flow* dan VFA sedangkan nilai VIM, VMA, dan MQ mengalami kenaikan.

## V KESIMPULAN DAN SARAN

### 1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan, adapun kesimpulan yang diperoleh sebagai berikut:

- a. Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran aspal yang ditambahkan dengan LDPE sebanyak 0%, 5%, 10%, dan 15% menurun yang disebabkan oleh turunnya nilai VIM. Dari hasil perhitungan yang dilakukan didapatkan KAO pada campuran LDPE 0% sebesar 6,15%, LDPE 5% sebesar 6,05%, LDPE 10% sebesar 5,90%, LDPE 15% sebesar 5,75%
- b. Pengaruh penambahan *Low Density Polyethylene* (LDPE) pada campuran AC-WC terhadap parameter Marshall menyebabkan meningkatnya nilai stabilitas seiring bertambahnya kadar LDPE, nilai stabilitas pada 0% LDPE didapat 1107,83 Kg – 1564,27 Kg, 5% LDPE didapat 1075,99 Kg – 1477,54 Kg, 10% LDPE didapat 1209,97 Kg – 1610,21 Kg, dan 15% LDPE didapat 1090,04 Kg – 1428,02 Kg.

Rongga dalam campuran (VIM) menurun yakni pada 0% LDPE didapat 6,86% - 2,68%, 5% LDPE didapat 6,62% - 2,53%, 10% LDPE didapat 5,36% - 2,38%, dan 15% LDPE didapat 4,97% - 2,85%. Rongga terisi aspal (VFA), dan *Flow* mengalami penurunan. Sedangkan nilai rongga dalam agregat (VMA), dan *Marshall Quotient* (MQ) mengalami peningkatan.

- c. Penambahan LDPE pada campuran AC-WC mempengaruhi karakteristik aspal antara lain nilai berat jenis, penetrasi, daktilitas, dan titik leleh. Berat jenis

aspal akan mengalami kenaikan seiring semakin banyak kadar LDPE yang dicampurkan, pada 0% LDPE 1,0200 gr/cm<sup>3</sup>, 5% LDPE 1,0215 gr/cm<sup>3</sup>, 10% LDPE 1,0465 gr/cm<sup>3</sup>, dan 15% LDPE 1,0791 gr/cm<sup>3</sup>. Nilai penetrasi akan semakin mengecil seiring bertambahnya kadar LDPE dikarenakan aspal menjadi lebih keras, pada 0% LDPE 65 mm, 5% LDPE 56 mm, 10% LDPE 49 mm, dan 15% LDPE 42 mm.

Daktilitas mengalami penurunan dikarenakan semakin banyak kadar LDPE yang dicampurkan akan membuat aspal menjadi semakin getas, pada 0% LDPE 127 cm, 5% LDPE 113 cm, 10% LDPE 106 cm, dan 15% LDPE 94 cm. Nilai titik leleh mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar LDPE dikarenakan dengan penambahan LDPE akan menambahkan kandungan lilin (parafin) pada aspal, pada 0% LDPE 48°C, 5% LDPE 56°C, 10% LDPE 58°C, dan 15% LDPE 62°C.

## 2. Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas dan penelitian di laboratorium, adapun saran untuk pengembangan penelitian ini sebagai berikut:

- a. Diperlukannya kajian atau pengujian tentang penggunaan *Low Density Polyethylene* (LDPE) sebagai bahan tambah pengikat pada aspal dengan *Penetration Grade* (PG) yang lain agar dapat digunakan secara luas.
- b. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan jenis plastik yang lebih variatif dikarenakan banyaknya jenis limbah plastik yang memiliki titik leleh yang lebih tinggi. Sehingga seluruh limbah plastik dapat digunakan sebagai bahan tambah pada campuran aspal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asrar, Y. D., (2007), *Karakteristik Aspal Dengan Bahan Tambah Plastik dan Kinerjanya Dalam Campuran HRA*, Departemen Civil And Engineering, Medan.
- Diansari, S., 2016, *Aspal Modifikasi dengan Penambahan Plastik Low Liniear Density Poly Ethylene (LLDPE) Ditinjau dari Karakteristik Marshall dan Uji Penetrasi pada Lapisan Aspal Beton (AC-BC)*, Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Lampung.
- Isya, M., Suraya, F., dan Sofyan, M., S., 2018, *Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Kresek Sebagai Substitusi Pen 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-BC*. Jurnal Teknik Sipil 1 (3), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syah Kuala, Banda Aceh.
- Kementerian Pekerjaan Umum, 2018, *Spesifikasi Umum Divisi 6 Perkerasan Aspal*. Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.
- Nasution, M. F. N., 2017, *Pengaruh Penambahan Plastik PET (Polyethylene Terephthalate) Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-WC di Laboratorium*. Tugas Akhir, Bidang Studi Transportasi, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Rahmawati, A., 2015, *Pengaruh Penggunaan Plastik Polyethylene (PE) dan High Density Polyethylene (HDPE) pada Campuran Laston - WC Terhadap Karakteristik Marshall*. Jurnal Ilmiah Semesta Teknika 18 (2), hal 147-159.

- Razak, B, A, dan Andi, E., 2016, *Karakteristik Campuran AC - WC dengan Penambahan Limbah Plastik Low Density Polyethylene (LDPE)*, Jurnal INTEK, Vol 3 (1), hal 8-14, Program Studi Teknik Sipil, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar.
- Suprpto, 2004, *Bahan dan Struktur Jalan Raya*, edisi II. Yogyakarta; Biro Penerbit KMTS FT UGM
- Suroso, T. W., 2008, *Pengaruh Penambahan Plastik LDPE (Low Density Polyethylene) Cara Basah dan Cara Kering terhadap Kinerja Campuran Beraspal*, Jurnal Penelitian, Media Komunikasi Teknik Sipil, Bandung.
- Utomo, 2010, *Pemanfaatan Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Dengan Metode Pirolisis*. Lhokseumawe. Universitas Malikulsaleh.