

SKRIPSI

**PENGARUH BAHAN TAMBAHAN *HIGH DENSITY POLYETHYLENE*
(HDPE) TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL LASTON
AC-BC**

**Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Studi
Pada Program Studi Teknik Sipil Jenjang Strata I**

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Mataram



DISUSUN OLEH:

LALU GALIH TANDAYU

2019D1B058

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM

TAHUN 2024

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

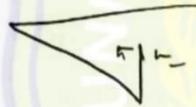
**PENGARUH BAHAN TAMBAHAN *HIGH DENSITY POLYETHYLENE*
(HDPE) TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL LASTON
AC-BC**

Disusun Oleh :

LALU GALIH TANDAYU
2019D1B058

Mataram, 18 Januari 2024

Pembimbing I



Titik Wahyuningsih, ST.,MT
NIDN : 0819097401

Pembimbing II



Nurul Hidayati, ST., M.Eng.
NIDN : 0815049401

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Mataram




Dr. H. Aji Syaileendra Ubaidillah, ST., M.Sc.
NIDN : 0806027101

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI

**PENGARUH BAHAN TAMBAHAN *HIGH DENSITY POLYETHYLENE*
(HDPE) TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL LASTON
AC-BC**

Disusun Oleh :

LALU GALIH TANDAYU
2019D1B058

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
Pada Hari/Tanggal : Mataram 18 Januari 2024
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Tim Penguji

1. Penguji I : Titik Wahyuningsih, ST.,MT. (.....)
2. Penguji II : Nurul Hidayati.ST.,M.Eng. (.....)
3. Penguji III : Anwar Efendy,ST.,MT. (.....)

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Mataram


Dr. H. Aji Syarifendra Ubaidillah, ST., M.Sc.
NIDN : 0806027101

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS

Saya yang bertanda dibawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir/Skripsi dengan judul:

“PENGARUH BAHAN TAMBAHAN *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* (HDPE) TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL LASTON AC-BC”

Benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari karya orang lain. Ide dan hasil penelitian maupun kutipan baik langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari tulisan atau ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam Tugas Akhir/Skripsi ini disebut dalam daftar pustaka. Apabila terbukti dikemudian hari bahwa Tugas Akhir/Skripsi ini merupakan hasil plagiasi, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai hukuman yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat tanpa tekanan dari pihak manapun dan dengan kesadaran penuh terhadap tanggung jawab dan konsekuensi.

Mataram, 18 Januari 2024

Yang membuat pernyataan



Lalu Galih Tandayu
NIM: 2019D1B58



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT

Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : perpustakaan@ummat.ac.id

SURAT PERNYATAAN BEBAS
PLAGIARISME

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : LALU GALIH TANDAYU
NIM : 2019018058
Tempat/Tgl Lahir : Bangkud 15 JUNI 2001
Program Studi : Teknik SIPIL
Fakultas : Teknik
No. Hp : 087852442555
Email : galihlalu06@mail.com

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi/KTI/Tesis* saya yang berjudul :

Pengaruh Bahan Fambah High Density Polyethylene (HDPE) Terhadap
Karakteristik Campuran Aspal Laston AC-BC

Bebas dari Plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain. 49 %

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian dari Skripsi/KTI/Tesis* tersebut terdapat indikasi plagiarisme atau bagian dari karya ilmiah milih orang lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dan disebutkan sumber secara lengkap dalam daftar pustaka, saya **bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum** sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Mataram.

Demikain surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun dan untuk dipergunakan sebagai mana mestinya.

Mataram, 15 Maret2024
Penulis



Lalu Galih Tandayu
NIM. 2019018058

Mengetahui,
Kepala UPT, Perpustakaan UMMAT



Iskandar, S.Sos., M.A.
NIDN. 0802048904

*pilih salah satu yang sesuai



**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT**

Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : perpustakaan@ummat.ac.id

**SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI KARYA ILMIAH**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : LAU GALIH TANDAYU
 NIM : 2019D1B058
 Tempat/Tgl Lahir : Bangkai 15 Juni 2001
 Program Studi : Teknik Sipil
 Fakultas : Teknik
 No. Hp/Email : 087 852 442 555 / galihlalu06@gmail.com
 Jenis Penelitian : Skripsi KTI Tesis

Menyatakan bahwa demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Muhammadiyah Mataram hak menyimpan, mengalih-media/format, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Repository atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama *tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta* atas karya ilmiah saya berjudul:

Pengaruh Bahan Tambahan High Density Polyethylene (HDPE) Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Laston AC-RC

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggungjawab saya pribadi. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya tanpa ada unsur paksaan dari pihak manapun.

Mataram, 15 Maret2024
 Penulis



LAU GALIH TANDAYU
 NIM. 2019D1B058
 2

Mengetahui,
 Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



Iskandar, S.Sos., M.A. edy
 NIDN. 0802048904

MOTO

“aturan lima untuk lima, jika suatu hal tidak akan berguna untukmu dalam lima tahun ke depan, jangan menghabiskan waktu untuk lebih dari lima menit mengurus hal itu”

(Lalu Galih Tandayu)

“gagal hanya terjadi jika kita menyerah”

(B.J. Habibie)

“bermimpilah yang tinggi, tapi jangan berusaha menggapai mimpi tersebut, melainkan berusahalah melampauinya”

(H.Anies Rasyid Baswedan, S.E.,M.P.P.,Ph.D.)

“Masa depan tidak datang dengan menyalah-nyalahkan masa lalu ”

(lalu galih tandayu)

“Rindu tidak pernah mentap. tapi ia selalu kembali”

(lalu galih tandayu)

PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini dapat diselesaikan berkat bantuan dan dorongan baik moral maupun materil dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada :

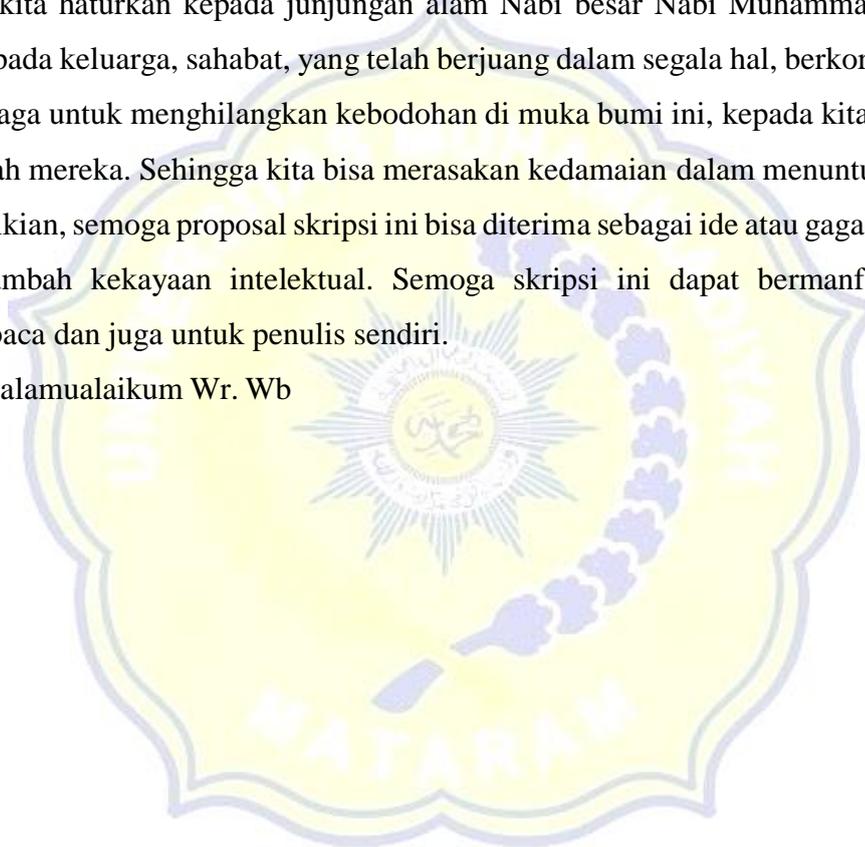
1. Allah Subhanahu Wata'ala karena atas kehendak-Nya lah skripsi ini dapat di berikan kelancaran dan kemudahan dalam proses pengerjaannya.
2. Kedua Orang Tua saya yang tercinta Lalu Ismunandar dan Ibu Baiq Ernawati, tidak ada kata yang cukup untuk mengatakan betapa besyukurnya saya kepada Mamiq dan Inaq tercinta. Memiliki orang tua seperti Mamiq dan Inaq adalah yang terbesar dari semua berkat, terima kasih untuk semua yang Mamiq dan Inaq lakukan untuk anakmu ini dan semua yang masih Mamiq dan Inak lakukan
3. Dr. H. Aji Syailendra Ubaidillah, ST., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
4. Adryan Fitrayudha, ST.,MT., selaku Ketua Program studi Teknik sipil Universitas Muhammadiyah Mataram..
5. Titik Wahyuningsih, ST., MT., selaku dosen pembimbing utama.
6. Nurul Hidayati ST.,M.Eng selaku dosen pembimbing pendamping
7. Kerabat dan sahabat tercinta Hirul Hadi, Muhammad Zulkarnaen, Muhammmad tamimi, Lalu hendara gunawan, Lalu robiyanto, Fikri haikal hidayat, Iin purwato, Arya ali, Hendi irawan, Rendi, Faiz, Doni amrulloh, Adam roihan, Lathifa azzahro,Silmi wirda fitri, Ema panida, Sari lapat, yang selalu membantu selama proses skripsi.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmat dan karunianya penulis dapat menyelesaikan penyusunan proposal skripsi yang berjudul “Pengaruh Bahan Tambahan *High Density Polyethylene* (HDPE) Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Laston AC-BC”. Salawat beserta salam tidaklupa pula kita haturkan kepada junjungan alam Nabi besar Nabi Muhammad SAW. Dan pada keluarga, sahabat, yang telah berjuang dalam segala hal, berkorban jiwa dan raga untuk menghilangkan kebodohan di muka bumi ini, kepada kita penerus setelah mereka. Sehingga kita bisa merasakan kedamaian dalam menuntut ilmu. Demikian, semoga proposal skripsi ini bisa diterima sebagai ide atau gagasan yang menambah kekayaan intelektual. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan juga untuk penulis sendiri.

Wassalamualaikum Wr. Wb



Mataram, 18, Januari 2024

LALU GALIH TANDAYU
NIM: 2019D1B058

ABSTRAK

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang memegang peranan penting dalam menunjang aktivitas manusia yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang di peruntukkan untuk lalu lintas baik menggunakan kendaraan maupun jalan kaki yang menghubungkan dari satu daerah ke daerah lain. Sehingga upaya untuk meningkatkan kualitas perkerasan jalan dilakukan salah satunya dengan cara menambahkan bahan adiktif seperti *High Density Polyethylene* (HDPE) dari limbah botol shampoo plastik dengan variasi 2%, 4%, 6%, dan 8% untuk mengetahui kadar optimum campuran *High Density Polyethylene* (HDPE) pada laston.

Dalam penelitian ini metode pengujian yang digunakan yaitu metode marshall. Metode marshall adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui nilai ketahanan (*stability*) terhadap kelelahan plastik (*flow*) dari suatu campuran aspal. Standar yang di gunakan dalam penelitian ini mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dengan menggunakan rencana campuran spesifikasi umum Bina Marga 2018.

Dari hasil nilai dari jenis berat campuran VMA, VFA, stabilitas, *flow* dan MQ memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2018 dari semua variasi penambahan botol shampo yaitu variasi 2%, 4%, 6%, dan 8%, tetapi pada VIM tidak memenuhi syarat yang di tentukan pada nilai penambahan di variasi 2%, 4% dan 8% akan tetapi nilai VIM masuk spesifikasi pada variasi penambahan 6% dengan nilai 4,11%. Variasi yang memenuhi syarat pengujian marshall yaitu pada variasi penambahan botol shampo 6% dengan nilai stabilitas 1460 kg, *flow* dengan nilai sebesar 2,09 mm, marshall *Quotient* memiliki nilai sebesar 688 kg/mm, kemudian pada nilai VMA sebesar 19,37%, nolai VIM sbesar 4,11%, dan nilai VFA sebesar 77,69%.

KATA KUNCI: *High Density Polyethylene (HDPE), Laston, Botol Shampo*

ABSTRACT

Roads are critical components of land transportation infrastructure that facilitate human activities. It includes all roadway segments, including auxiliary structures and equipment designed to facilitate vehicular and pedestrian traffic and link different regions. To enhance road pavement quality, endeavors are undertaken to incorporate additives such as High-Density Polyethylene (HDPE) derived from refuse plastic shampoo bottles. The optimal concentration of the HDPE mixture in Laston is determined by varying the concentrations by 2%, 4%, 6%, and 8%. The test procedure employed in this investigation was the Marshall method. The Marshall method measures the resistance (stability) to a bitumen mixture's plastic melting (flow). The reference for the standard utilized in this investigation is the 2018 Bina Marga general specification mix plan of the Indonesian National Standard (SNI). From the results of the value of the type of mixture weight VMA, VFA, stability, flow, and MQ meet the requirements of Bina Marga 2018 specifications of all variations of the addition of shampoo bottles, namely variations of 2%, 4%, 6%, and 8%. Still, the VIM does not meet the requirements specified at the addition value in the variations of 2%, 4%, and 8%. Still, the VIM value enters the specification in the variation of the addition of 6% with a value of 4.11%. Variations that meet the requirements of marshall testing are in the variation of adding 6% shampoo bottles with a stability value of 1460 kg, flow with a value of 2.09 mm, marshall Quotient has a value of 688 kg/mm, then at a VMA value of 19.37%, zero VIM value of 4.11%, and a VFA value of 77.69%.

KEYWORDS: High-Density Polyethylene (HDPE), Laston, Marshall Shampoo Bottle

MENGESAHKAN
SALINAN FOTO COPY SESUAI ASLINYA
MATARAM

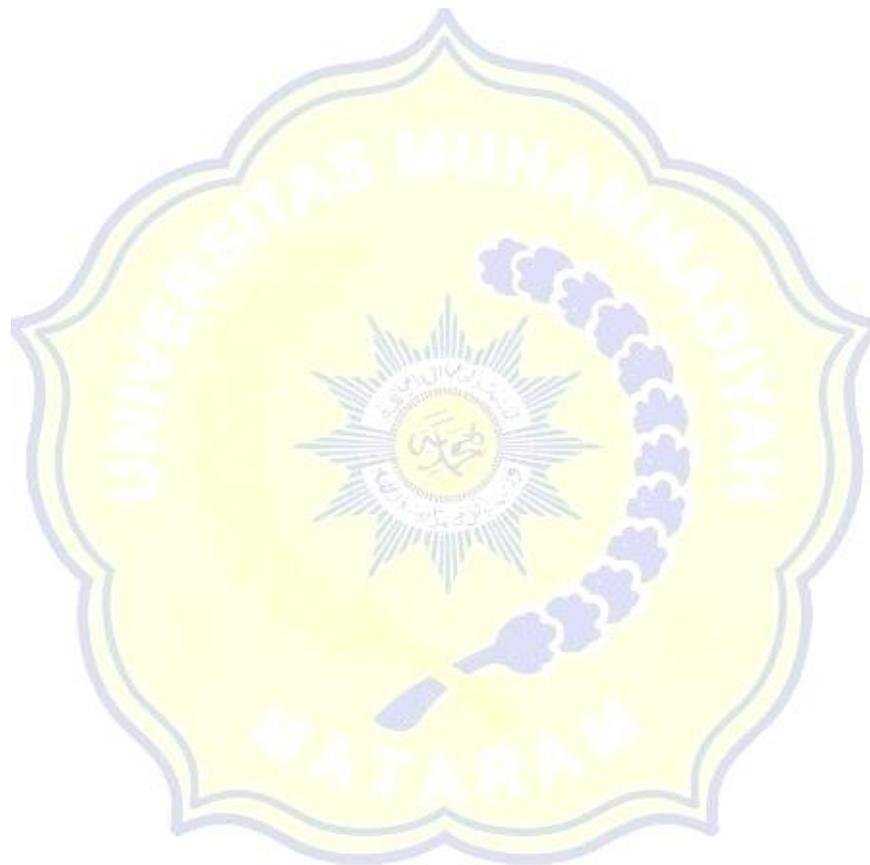


DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI | iii |
| LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS | iv |
| SURAT PERNYATAAN BEBAS PLGIARISME | v |
| SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH | vi |
| MOTO | vii |
| PERSEMBAHAN | viii |
| KATA PENGANTAR | ix |
| ABSTRAK | x |
| ABSTRACT | xi |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR TABEL | xv |
| DAFTAR GAMBAR | xvii |
| DAFTAR NOTASI | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3. Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.4. Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.5. Manfaat Penelitian..... | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI | 5 |
| 2.1. Tinjauan Pustaka | 5 |
| 2.2. Landasan Teori | 8 |
| 2.2.1. <i>Plastik High Density Polyethylene (HDPE)</i> | 8 |
| 2.2.2. Jenis Perkerasan..... | 11 |
| 2.2.3. Campuran Beraspal..... | 12 |
| 2.2.4. Jenis Campuran Beraspal..... | 13 |
| 2.2.5. Agregat..... | 13 |

| | |
|---|-----------|
| Agregat Kasar | 17 |
| 2.2.6. Agregat halus | 19 |
| 2.2.7. Bahan pengisi (<i>filler</i>) | 20 |
| 2.2.8. Gradasi Agregat Gabungan..... | 21 |
| 2.2.9. Berat Jenis Dan Penyerapan | 22 |
| 2.2.10. Aspal (<i>Asphalt</i>) | 26 |
| 2.2.11. Laston AC | 34 |
| 2.3. Pengujian Marshall (Karakteristik Sifat-Sifat Marshall)..... | 36 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 40 |
| 3.1. Lokasi Dan Metode Penelitian | 40 |
| 3.2. Teknik Pengumpulan Data | 40 |
| 3.3. Bahan penelitian | 46 |
| 3.4. Benda Uji..... | 46 |
| 3.5. Prosedur Pelaksanaan | 47 |
| 3.5.1. Tahap Persiapan..... | 47 |
| 3.5.2. Pembuatan Benda Uji | 47 |
| 3.6. Marshall Test | 49 |
| 3.7. Tahapan Penelitian | 51 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 53 |
| 4.1. Umum..... | 53 |
| 4.2. pengujian agregat..... | 53 |
| 4.2.1. Hasil Analisa Pembagian Butiran | 53 |
| 4.2.2 Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat..... | 54 |
| 4.2.3 Data pengujian aspal | 58 |
| 4.3 Penentuan Gradasi Agregat dan Perencanaan Kadar Aspal Optimum (KAO)..... | 59 |
| 4.3.1 Penentuan gradasi agregat..... | 59 |
| 4.3.2 Perencanaan kadar aspal rencana | 61 |
| 4.3.3 Perencanaan Kadar Aspal (KAO) | 62 |
| 4.4 Hasil Pengujian Berat Jenis Campuran Maksimum GMM (Berat Jenis Campuran)..... | 74 |
| 4.2.1. Job mix formula pada kadar aspal optimum..... | 76 |
| 4.4.1 Hasil Analisa Marshall pada Kadar Aspal Optimum..... | 77 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | 86 |

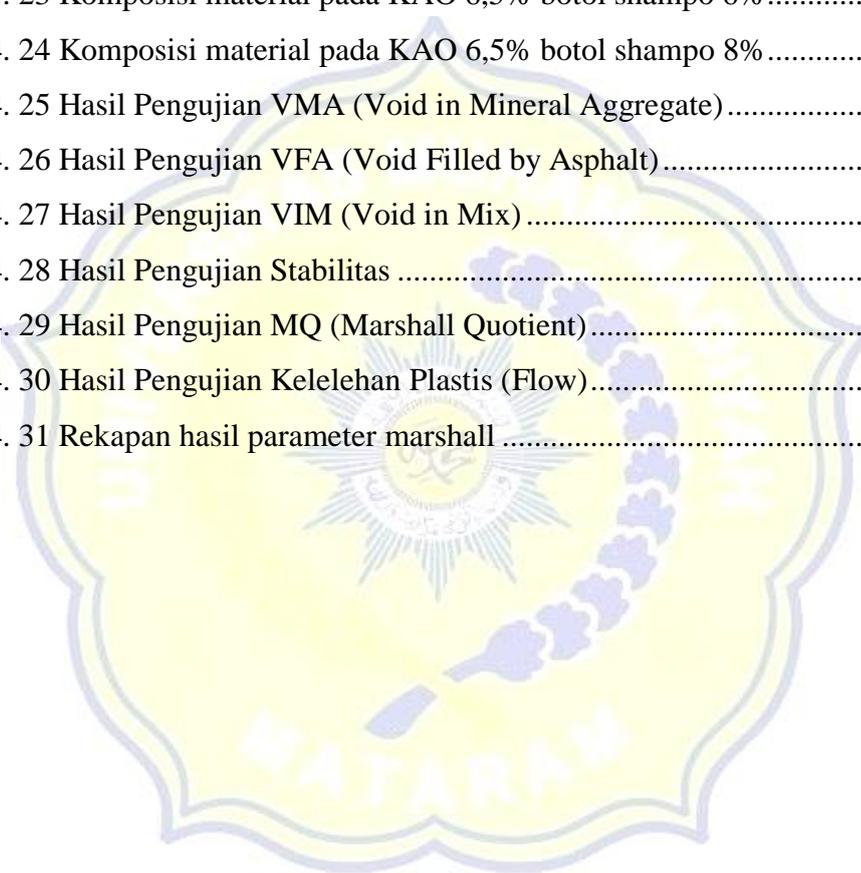
| | |
|-----------------------------|-----------|
| 5.1. KESIMPULAN..... | 86 |
| 5.2. SARAN..... | 87 |
| DAFTAR PUSTAKA | 88 |
| LAMPIRAN..... | 90 |



DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Tabel Nominal Minimum Campuran Beraspal | 13 |
| Tabel 2. 2 Ketentuan agregat kasar untuk campuran beraspal..... | 18 |
| Tabel 2. 3 Ketentuan agregat halus untuk campuran beraspal..... | 19 |
| Tabel 2. 4 Gradasi Agrgat Gabungan Untuk Campuran Beraspal | 21 |
| Tabel 2. 5 Tabel ketentuan aspal..... | 28 |
| Tabel 2. 6 Rasio koreksi stabilitas pada laston..... | 37 |
| Tabel 3. 1 Jumlah benda uji | 47 |
| Tabel 3. 2 Kekentalan aspal keras untuk pencampuran dan pematatan | 48 |
| Tabel 4. 1 Analisa saringan pembagian butiran fraksi agregat (3/4) | 53 |
| Tabel 4. 2 Analisa saringan pembagian butiran fraksi agregat (3/8) | 54 |
| Tabel 4. 3 Analisa saringan Abu Batu | 54 |
| Tabel 4.4 Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat fraksi agregat (<3/4) 55 | |
| Tabel 4.5 Pemeriksaan baret jenis dan penyerapan agregat fraksi agregat (<3/8) 56 | |
| Tabel 4.6 Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat abu batu..... | 57 |
| Tabel 4.7 pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus..... | 57 |
| Tabel 4. 8 Karakteristik aspal penetrasi 60/70 | 59 |
| Tabel 4. 9 Gradasi agregat | 60 |
| Tabel 4. 10 kebutuhan agregat masing-masing kadar aspal dalam gram..... | 63 |
| Tabel 4.11 Persentase agregat masing-masing kadar aspal | 64 |
| Tabel 4.12 Hasil pengujian Marshall pada campuran AC-BC..... | 64 |
| Tabel 4. 13 Perkiraan awal pemakaian Kadar Aspal Optimum Botol shampo 2% | 70 |
| Tabel 4. 14 Perkiraan awal pemakaian Kadar Aspal Optimum Botol shampo 4% | 71 |
| Tabel 4. 15 Perkiraan awal pemakaian Kadar Aspal Optimum Botol shampo 6% | 72 |
| Tabel 4. 16 Perkiraan awal pemakaian Kadar Aspal Optimum Botol shampo 8% | 73 |

| | |
|--|----|
| Tabel 4. 17 hasil pengujian GMM botol shampo 2% | 74 |
| Tabel 4. 18 hasil pengujian GMM botol shampo 4% | 74 |
| Tabel 4. 19 Hasil Pengujian GMM botol shampo 6% | 75 |
| Tabel 4. 20 Hasil Pengujian GMM limbah plastik 8% | 75 |
| Tabel 4. 21 Komposisi material pada KAO 6,5% botol shampo2% | 76 |
| Tabel 4. 22 Komposisi material pada KAO 6,5% botol shampo 4% | 76 |
| Tabel 4. 23 Komposisi material pada KAO 6,5% botol shampo 6% | 77 |
| Tabel 4. 24 Komposisi material pada KAO 6,5% botol shampo 8% | 77 |
| Tabel 4. 25 Hasil Pengujian VMA (Void in Mineral Aggregate) | 78 |
| Tabel 4. 26 Hasil Pengujian VFA (Void Filled by Asphalt) | 79 |
| Tabel 4. 27 Hasil Pengujian VIM (Void in Mix) | 80 |
| Tabel 4. 28 Hasil Pengujian Stabilitas | 82 |
| Tabel 4. 29 Hasil Pengujian MQ (Marshall Quotient) | 83 |
| Tabel 4. 30 Hasil Pengujian Kelelahan Plastis (Flow) | 84 |
| Tabel 4. 31 Rekapitan hasil parameter marshall | 85 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2. 1 Lambang plastik <i>HDPE</i> | 8 |
| Gambar 2. 2 Berat jenis Agregat | 23 |
| Gambar 2. 3 Lapisan aspal beton | 35 |
| Gambar 3. 1 Lokasi pengambilan sampel | 40 |
| Gambar 3. 2 Satu Set Alat Uji Saringan AS | 41 |
| Gambar 3. 3 Alat penguji Volumetrik..... | 41 |
| Gambar 3. 4 Oven atau pemanas agregat..... | 42 |
| Gambar 3. 5 Timbangan digital..... | 42 |
| Gambar 3. 6 Termometer | 42 |
| Gambar 3. 7 satu set cetakan (<i>mould</i>) | 43 |
| Gambar 3. 8 Alat penumbuk | 43 |
| Gambar 3. 9 Dongkrak Hidraulis | 43 |
| Gambar 3. 10 Water Bath..... | 44 |
| Gambar 3. 11 satu set alat Marshall | 45 |
| Gambar 3. 12 Panci | 45 |
| Gambar 3. 13 Wajan | 45 |
| Gambar 3. 14 Sarung Tangan..... | 46 |
| Gambar 4. 1 Grafik hasil blending agregat PT. Sinar Bali Binakarya | 60 |
| Gambar 4. 2 Grafik hasil pengujian stabilitas | 66 |
| Gambar 4. 3 Grafik hasil pengujian <i>Flow</i> | 66 |
| Gambar 4. 4 Grafik hasil pengujian VIM | 67 |
| Gambar 4. 5 Grafik hasil pengujian VMA..... | 68 |
| Gambar 4. 6 Grafik hasil pengujian VFA | 69 |
| Gambar 4. 7 Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO)..... | 69 |
| Gambar 4. 8 Grafik Hasil Pengujian VMA..... | 79 |
| Gambar 4. 9 Grafik Hasil Pengujian VFA..... | 80 |
| Gambar 4. 10 Grafik Hasil Pengujian VIM | 81 |
| Gambar 4. 11 Grafik Hasil Pengujian Stabilitas | 82 |
| Gambar 4. 12 Grafik Hasil Pengujian MQ (<i>Marshall Quotient</i>) | 83 |
| Gambar 4. 13 Grafik Hasil Pengujian <i>flow</i> | 84 |

DAFTAR NOTASI



| | |
|-------------|---|
| <i>A</i> | : Berat benda contoh uji kering oven (gr) batu yang tertahan saringan No.200 APP : Berat jenis gabungan |
| <i>APPT</i> | : Berat jenis semu |
| <i>B</i> | : Berat benda uji kering permukaan (gr) |
| <i>C</i> | : Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gr) |
| <i>Bk</i> | : Berat uji kering (gr) |
| <i>B</i> | : Berat piknometer + berat air (gr) |
| <i>Bt</i> | : Berat piknometer + benda uji + berat air (gr) |
| <i>Bulk</i> | : Berat jenis |
| <i>CA</i> | : Persen agregat lolos saringan No.8 |
| <i>E</i> | : Berat benda uji sebelum direndam (gr) |
| <i>F</i> | : Berat benda uji jenuh air (gr) |
| <i>FA</i> | : Persen agregat lolos saringan No.8 dan tertahan saringan No.200 |
| <i>FF</i> | : Bahan pengisi (<i>filler</i>) |
| <i>G</i> | : Isi benda uji (ml) |
| <i>I</i> | : Berat isi benda uji (gr/ml) |
| <i>J</i> | : Berat jenis Campuran maksimal |
| <i>K</i> | : Konstanta, yaitu 0,5-1,0 untuk Laston dan 2,0-3,0 untuk Lataston. Untuk jenis campuran lain gunakan nilai 1,0-2,5 |

- Gmb* : Berat jenis campuran padat (AASHTO T-166)
- Gsb* : Berat jenis curah agregat
- Gmm* : Berat jenis campuran maksimum
- MQ* : Nilai Marshall *Quotient* (kg/mm)
- Pb* : Kadar aspal tengah, persen terhadap berat campuran
- Ps* : Persen agregat terhadap berat total campuran



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jalan merupakan Infrastruktur transportasi darat mencakup seluruh jaringan jalan, termasuk struktur dan peralatan terkait, yang dirancang untuk memfasilitasi pergerakan kendaraan dan pejalan kaki antar wilayah yang berbeda (Sunyata, 2021).

Pembangunan jalan raya memerlukan perencanaan yang matang, terutama pada perkerasan yang digunakan. Umur dan kapasitas permukaan jalan berpengaruh nyata terhadap kualitasnya. Perkerasan jalan yang dirancang dengan baik dan direncanakan dengan baik menjamin kualitas yang tinggi. Di masa yang semakin canggih dan berkembang ini, kebutuhan individu, baik yang berada di wilayah pedesaan maupun kelompok metropolitan, terhadap transportasi antar lokasi yang berbeda akan terus meningkat. Jalan dirancang untuk memudahkan transportasi di darat, baik di permukaan, di bawah permukaan tanah, atau di atas permukaan air, maupun di atas permukaan air. Perkerasan jalan yang berkualitas sangat penting untuk menjamin keselamatan, kenyamanan, dan kelancaran seluruh aktivitas yang mengandalkan infrastruktur transportasi darat ini. Untuk menjamin perkerasan jalan memenuhi kualitas yang diinginkan, diperlukan pemahaman mengenai karakteristik, perolehan, dan penatausahaan material yang digunakan pada perkerasan jalan.

Bahan utama penyusun perkerasan jalan adalah agregat, aspal, dan bahan pengisi (*filler*). Pendekatan yang efektif untuk memastikan perkerasan jalan berkualitas tinggi adalah dengan mengontrol kualitas setiap material secara efisien. Aspal merupakan bahan padat yang berwarna hitam sampai coklat tua dan tetap kokoh pada suhu kamar. Aspal merupakan bahan termoplastik yang melunak dan dapat bengkok jika terkena suhu tinggi sehingga dapat meleleh. Sebaliknya dengan menurunnya suhu maka aspal mengalami proses pemadatan dan menjadi padat kembali (Mahsuri, 2010). Salah satu cara mitigasi kerusakan jalan akibat beban berat

Meningkatkan kualitas dan kestabilan perkerasan jalan untuk meningkatkan performa mobil. Dengan semakin banyaknya kendaraan yang menggunakan jalan tersebut, maka diperlukan peningkatan kualitas jalan. Pada era globalisasi saat ini sangat diperlukan adanya perkerasan jalan dengan tingkat kuat tekan yang tinggi. Berbagai teknik telah digunakan dan dikembangkan untuk memperbaiki kondisi jalan dan meningkatkan kekuatannya. Salah satu caranya adalah dengan mengubah komposisi komponen penyusun perkerasan jalan. Memanfaatkan bahan tambahan plastik seperti High Density Polyethylene (HDPE) merupakan pilihan yang tepat untuk meningkatkan kualitas lapisan perkerasan jalan. Salah satu jenis perkerasan jalan yang termasuk dalam spesifikasi ini adalah lapisan aspal beton yang disebut juga AC (Asphalt Concrete) (Hepiyanto, 2018)..

Pada penelitian ini, bahan tambah yang digunakan yaitu limbah plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) pada campuran aspal. Pemanfaatan ini digunakan untuk mengurangi keberadaan sampah plastik yang selama ini berdampak negatif bagi lingkungan. Pada penelitian ini yang ditinjau adalah pengaruh penambahan limbah plastik (*HDPE*) sebagai bahan tambah pada campuran aspal terhadap karakteristik laston AC-BC.

Berdasarkan pemaparan latar belakang di atas penelitian eksperimental dengan judul “ **PENGARUH BAHAN TAMBAHAN *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* (HDPE) TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL LASTON AC-BC**”.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dipaparkan diatas, adapun rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Berapakah kadar optimum campuran *High Density Polyethylene* (HDPE) pada laston pada variasi campuran HDPE 0%, 2%, 4%, 6%, 8%?
2. Apakah penambahan penetrasi *High Density Polyethylene* (HDPE) 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dapat memenuhi sifat-sifat uji Marshall?
3. Bagaimana pengaruh *High Density Polyethylene* (HDPE) terhadap campuran Laston AC-BC?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui kadar optimum campuran *High Density Polyethylene* (HDPE) pada laston.
2. Untuk mengetahui apakah penambahan penetrasi *High Density Polyethylene* (HDPE) dapat memenuhi sifat-sifat uji Marshall.
3. Untuk mengetahui apakah *High Density Polyethylene* (HDPE) dapat bermanfaat sebagai bahan penambah Laston AC-BC.

1.4. Batasan Masalah

Ruang lingkup dan batasan masalah pada penelitian ini meliputi hal-hal berikut:

1. *High Density Polyethylene* (HDPE) yang digunakan adalah plastik botol shampo sebagai bahan penambah pada penelitian ini.
2. *High Density Polyethylene* (HDPE) yang digunakan dengan variasi 0%, 2%, 4%, 6%, 8% pada penelitian ini.
3. Aspal yang digunakan yaitu aspal 60/70 dari PT Sinar Bali Bina Karya, yang berfungsi sebagai bahan pengikat.
4. Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen Portland yang berfungsi sebagai filler.
5. Tidak melakukan pengujian dilapangan dan penelitian yang dilakukan pada pengujian di laboratorium.
6. Tidak membahas kandungan unsur kimia yang terjadi pada campuran penggunaan plastik botol shampo.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari temuan penelitian ini mencakup:

1. Manfaat untuk akademis
 - a. Upaya mengembangkan ilmu pengetahuan dibidang jalan terutama pengaspalan.
 - b. Membantu mengurangi limbah plastik jenis *High Density Polyethylene* (HDPE)

2. Manfaat untuk masyarakat
 - a. Memberikan tingkat perkerasan yang lebih baik serta daya tahan yang semakin tinggi sehingga memudahkan masyarakat yang menggunakan kendaraan besar melintasinya.
 - b. Untuk mengurangi limbah plastik botol shampo yang ada dimasyarakat.
3. Manfaat untuk pemerintah
 - a. Salah satu solusi pengurangan limbah plastik dan juga dapat meningkatkan nilai ekonomis dari bahan tersebut.
 - b. Untuk meningkatkan perkerasan mutu jalan sehingga stabilitas dari campuran tersebut meningkat.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Sumiati (2019), melakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) pada lapisan perkerasan aspal beton AC-BC. Penelitian ini mencoba menggunakan bahan adiktif berupa biji plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) yang diharapkan menambah nilai stabilitas dan bahkan mampu mengatasi kelemahan yang dimiliki aspal lapis perkerasan beton aspal terhadap kerusakan, pengambilan data dilakukan dengan pengujian di laboratorium berdasarkan spesifikasi umum pekerjaan jalan bina marga dan dilakukan metode penelitian ini yaitu metode marshall. Penelitian ini mengkaji kadar sampah plastik yang terdiri dari variasi 3% dan 6%. Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa campuran plastik HDPE 3% dan 6% pada aspal menghasilkan kinerja yang lebih unggul dibandingkan aspal konvensional.

Eriyono dan Puspito (2019), Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk membandingkan kinerja campuran aspal biasa dan aspal plastik HDPE. Hasil analisis campuran yang mengandung pelet plastik HDPE 3% dan 6% akan menunjukkan dampak penggunaan plastik HDPE terhadap aspal. Nilai kadar aspal yang memenuhi kriteria Bina Marga 2010 revisi III ditetapkan sebesar 5,9%, 5%, dan 5,8%. Analisis hasil uji Marshall menghasilkan nilai parameter karakteristik campuran normal sebagai berikut: VIM (4,46%), VMA (16,42%), VFB (72,78%), Stabilitas (1155kg), Flow (3,56 mm), MQ (325 kg/mm) . Untuk campuran aspal plastik HDPE dengan VIM 3% diperoleh nilai : VIM (3,98%), VMA (14,67%), VFB (72,88%), Stabilitas (1417 kg), Flow (3,49 mm), MQ (406 kg /mm). Terakhir, untuk campuran aspal plastik HDPE dengan VIM 6% nilai yang diperoleh adalah: VIM (3,71%), VMA (15,60%), VFB (76,28%), Stabilitas (1408 kg), Flow (3,71mm), MQ (379,60 kg/mm). Secara umum nilai kestabilan aspal meningkat pada penambahan kandungan plastik HDPE 3% dan 6% dibandingkan dengan nilai kestabilan aspal normal.

Khadafi dkk (2023), Memanfaatkan perpaduan plastik HDPE dan aspal dapat secara efektif menghemat biaya produksi dan berdampak positif terhadap karakteristik aspal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menilai dampak penambahan plastik HDPE ke dalam campuran aspal sebagai bahan pengikat konstruksi jalan, dan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan plastik terhadap nilai marshall. Penelitian dilakukan di laboratorium teknik sipil jalan dan aspal Universitas Muhammadiyah Parepare dengan menggunakan metodologi pengujian Marshall. Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa plastik HDPE kadar 4% dan 5% memenuhi nilai VIM dan FVB, namun kadar HDPE 6% tidak memenuhi kriteria. Mengenai nilai stabilitas, baik VMA Flow maupun MQ memenuhi persyaratan yang ditentukan. Penggunaan plastik HDPE dalam jumlah lebih banyak dapat menyebabkan campuran aspal menjadi tidak efisien atau menurunkan kualitas aspal AC-BC.

Suprayitno dan Mudjanarko (2019), Para peneliti bertujuan untuk menilai kualitas campuran aspal panas untuk lapisan keausan AC-WC dengan memasukkan limbah plastik HDPE (high Density Polyethylene). Secara khusus, mereka menyelidiki pengaruh penambahan 4%, 8%, dan 12% sampah plastik HDPE, berdasarkan berat total aspal yang digunakan dalam campuran, pada uji marshall aspal panas. Laboratorium melakukan pengujian untuk menilai nilai campuran aspal panas dengan menggunakan metode pengujian Marshall dan pengujian lainnya sesuai dengan persyaratan pengujian material. Berdasarkan data yang diperoleh dari uji marshall, rata-rata temuan marshall menunjukkan bahwa nilai maksimum untuk kombinasi 4% adalah 415kg/mm, sedangkan untuk campuran 8% adalah 441kg/mm. Berat maksimum campuran 12% adalah 510 kg/mm. Pembacaan stabilitas menunjukkan peningkatan kekuatan yang signifikan pada kombinasi 4% (1430kg), sehingga menunjukkan bahwa aspal dengan campuran plastik lebih unggul dibandingkan penggunaan campuran khusus ini. Temuan pengujian menghasilkan nilai VMA, VIM, dan VFB, yang menunjukkan bahwa aspal yang mengandung plastik menunjukkan sifat kedap air yang unggul dan memiliki jumlah rongga yang lebih sedikit. Temuan pengujian untuk campuran 4% menghasilkan angka sebagai berikut: 6,95%, 2,86%, dan 58,91%.

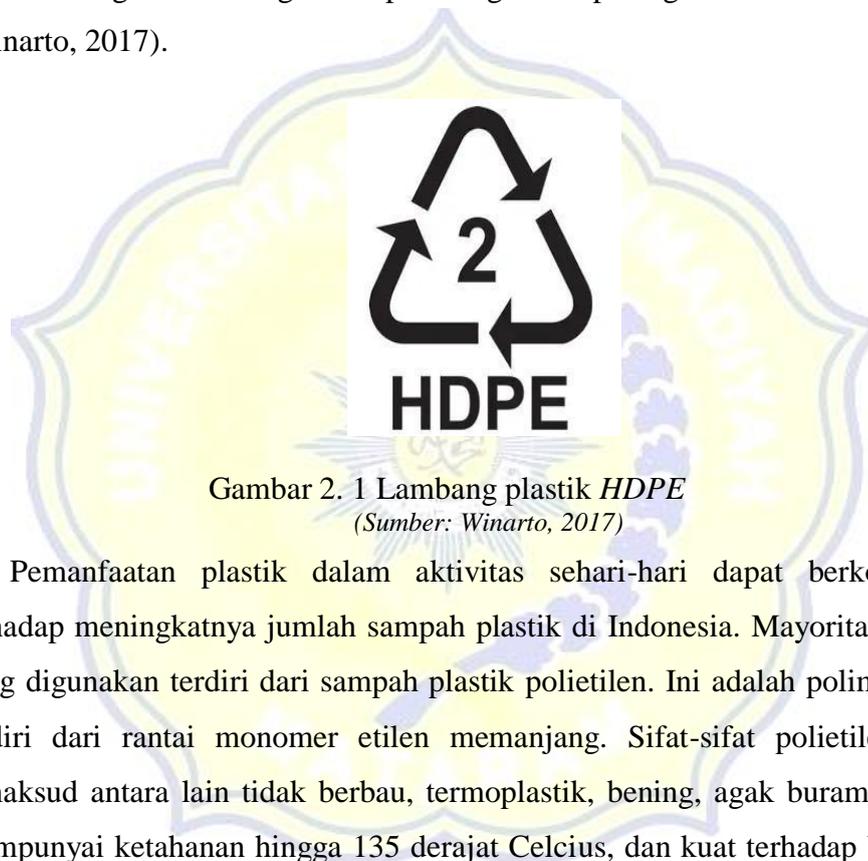
Demikian pula pada campuran 8% menghasilkan nilai 8,12% dan 4,08%, 49,81%) dan 12% (13%,84%, 4,50%, 67,50%).

Telehala (2023), Seiring kemajuan teknologi, muncul temuan-temuan baru mengenai perkerasan jalan. Secara khusus, penggunaan material plastik HDPE telah diidentifikasi sebagai alternatif pengganti aspal yang potensial. Teknik inovatif ini menawarkan jawaban potensial bagi bangsa kita, dengan memanfaatkan data Kementerian Lingkungan Hidup pada tahun 2015 yang menunjukkan bahwa akumulasi sampah plastik harian di Indonesia berjumlah 10.580 meter kubik. Meningkatnya jumlah plastik di Indonesia menjadi sumber kekhawatiran, seiring dengan meningkatnya penggunaan dan pengelolaan sampah. Sampah plastik High Density Polyethylene (HDPE) dan Polypropylene (PP) dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan pada aspal untuk meningkatkan kualitas dan daya tahannya. Penelitian ini menggunakan metode plastik Coated Aggregate (PCA), yaitu pemanfaatan bahan plastik dalam keadaan lunak (pada kisaran suhu 160-190°C). Bahan plastik dicampur dengan agregat yang dipanaskan sehingga menghasilkan lapisan yang menyelubungi agregat. Agregat pertama-tama diisi dengan plastik, kemudian aspal cair dimasukkan dan dihancurkan menggunakan mesin penumbuk. Faktor penambahan plastik yang digunakan terdiri dari aspal sebanyak 9%, 11%, 13%, dan 15% (berat). Variabel pencampuran plastik seluruhnya terdiri dari polipropilen (PP). Selanjutnya, aspal yang telah selesai menjalani eksperimen marshall, aliran, kepadatan, dan stabilitas untuk memastikan karakteristik ideal untuk memasukkan plastik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan komponen plastik pada campuran aspal beton, khususnya pada variabel campuran plastik, tidak meningkatkan kualitas beton aspal polietilen termoplastik khususnya dalam hal stabilitas. Pendekatan PCA mempunyai manfaat dalam mencapai hasil yang optimal dalam proses pengisian agregat dengan aspal cair. Variabel pencampuran yang memberikan hasil pengujian paling baik adalah dengan memasukkan HDPE 13%, yang menghasilkan peningkatan skor Marshall Quotient sebesar 14,1% dibandingkan dengan beton aspal tanpa plastik.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Plastik *High Density Polyethylene* (HDPE)

High Density Polyethylene atau disebut *HDPE* adalah Plastik yang berasal dari minyak bumi. Plastik yang berasal dari minyak bumi. *HDPE* menunjukkan sifat tembus sebagian dan sebagian transparan, serta memiliki elastisitas. Plastik ini memiliki kualitas kedap air, tidak berbau, tahan suhu tinggi, dan tahan benturan. Plastik *HDPE* mempunyai corak yang kuat dan pekat sehingga cocok digunakan untuk aplikasi seperti wadah sabun, botol minum, wadah kosmetik, botol minyak, botol sampo, dan berbagai produk plastik lainnya. Plastik *HDPE* dikenali dengan tanda angka 2 seperti tergambar pada gambar 2.1 di bawah ini (Winarto, 2017).



Gambar 2. 1 Lambang plastik *HDPE*
(Sumber: Winarto, 2017)

Pemanfaatan plastik dalam aktivitas sehari-hari dapat berkontribusi terhadap meningkatnya jumlah sampah plastik di Indonesia. Mayoritas plastik yang digunakan terdiri dari sampah plastik polietilen. Ini adalah polimer yang terdiri dari rantai monomer etilen memanjang. Sifat-sifat polietilen yang dimaksud antara lain tidak berbau, termoplastik, bening, agak buram, elastis, mempunyai ketahanan hingga 135 derajat Celcius, dan kuat terhadap benturan (Wahyudi dkk, 2021).

Penggunaan bahan tambah plastik jenis *High Density Polyethylene* (*HDPE*) merupakan pilihan yang layak untuk meningkatkan kualitas lapisan perkerasan yang tahan lama. Salah satu bentuk perkerasan yang ditentukan dalam dokumen ini adalah lapisan aspal beton yang sering disebut dengan Laston AC (*Asphalt Concrete*).

Pada penelitian ini, bahan tambah yang digunakan yaitu limbah plastik *High Density Polyethylene* (*HDPE*) pada campuran aspal. Aplikasi ini digunakan untuk

memitigasi prevalensi sampah plastik yang berdampak buruk terhadap lingkungan. Penelitian ini mengkaji dampak pemasukan sampah plastik high-density polietilen (HDPE) ke dalam campuran aspal terhadap sifat-sifat laston AC-BC.

Plastik HDPE dikategorikan sebagai plastik yang sangat mudah didaur ulang, oleh karena itu sering digunakan untuk tujuan daur ulang. Plastik HDPE diproduksi dari bahan baku etilen dengan menggunakan proses katalis atau katalis. Limbah plastik HDPE merupakan plastik berwarna putih bening yang sering digunakan untuk pembuatan botol sampo. Sampah plastik merupakan bahan serbaguna dan mudah didapat yang dapat digunakan sebagai bahan pengganti. Adapun kelebihan dan kekurangan pelastik *HDPE* diataranya yaitu:

1. kelebihan HDPE (*High Density Polyethylene*)

a. Murah dan mudah di produksi

Plastik HDPE dikategorikan sebagai plastik yang sangat mudah didaur ulang, oleh karena itu sering digunakan untuk tujuan daur ulang. Plastik HDPE diproduksi dari bahan baku etilen dengan menggunakan proses katalis atau katalis. Limbah plastik HDPE merupakan plastik berwarna putih bening yang sering digunakan untuk pembuatan botol sampo. Sampah plastik merupakan bahan serbaguna dan mudah didapat yang dapat digunakan sebagai bahan pengganti.

b. Tahan suhu ekstrim dan kelembapan

HDPE memiliki stabilitas termal yang sangat baik sehingga mampu bertahan pada suhu berkisar antara -100 hingga 80 derajat Celsius. Permukaannya juga tahan terhadap kelembapan. Cocok untuk menyimpan berbagai macam makanan dan minuman.

c. Tahan efek sinar UV

HDPE adalah Plastik memiliki ketahanan yang cukup kuat terhadap dampak buruk radiasi UV. Fitur ini mencegah permukaan mudah kehilangan warnanya, menjadikannya bahan yang sempurna untuk barang yang membutuhkan warna cerah.

d. Anti bocor dan karat

Kepadatan permukaan HDPE yang tinggi memberikan penghalang efektif

terhadap penetrasi cairan, menjadikannya bahan yang ideal untuk saluran pipa dan wadah makanan karena sifatnya yang anti bocor. Permukaannya tahan terhadap pertumbuhan jamur dan korosi.

e. Tahan terhadap kontak bahan kimia

HDPE menunjukkan ketahanan kimia karena tingginya kekuatan interaksi antarmolekul yang terjadi antar molekulnya. HDPE mempunyai ketahanan kimia yang tinggi terhadap bahan kimia yang bersifat asam dan basa.

2. kekurangan *HDPE (High Density Polyethylene)*

a. Mudah mengembang

Meski memiliki ketahanan yang tinggi terhadap retak, HDPE memiliki kecenderungan untuk mengalami pemuaian jika terkena panas. Fenomena ini dapat terjadi jika bahan plastik terus-menerus terkena suhu tinggi.

b. kuat tetapi kaku atau tidak *fleksibel*

HDPE, atau polietilen densitas tinggi, adalah bahan plastik kuat yang mampu menahan beban berat dan menopang beban berat. HDPE, atau polietilen densitas tinggi, adalah bentuk plastik yang kaku dan tidak fleksibel.

Bentuk olahan *HDPE (High Density Polyethylene)* dalam kehidupan sehari-hari diantaranya yaitu:

1. Pipa
2. Botol yaitu botol jus, botol oli motor, botol shampo, botol pembersih lantai, dan botol kemasan obat.
3. Karton susu
4. Galon dan jerigen

Pada penelitian ini yang digunakan adalah shampoo plastik HDPE, karena botol shampoo plastik biasanya sudah habis pakai, botol shampoo tersebut menjadi bahan buangan atau bahan sisa pemakaian dan menjadi sampah sehari-hari. Proses alami pemusnahan sampah sangat lambat bahkan tidak dapat dimusnahkan, sehingga sampah mengganggu lingkungan sekitar dan juga merugikan kesehatan manusia. Pada setiap proses setelah selesai menggunakan sampo, kita dapat melihat jumlah botol sampo yang terpakai dan botol plastik

sampo yang menumpuk. Saat ini penggunaan botol sampo plastik masih sangat sedikit sehingga botol sampo plastik masih menjadi bahan limbah yang mengganggu lingkungan. Dengan menggunakan botol sampo plastik sebagai bahan tambahannya. perkerasan jalan AC BC, maka diharapkan palstik botol shampo tidak lagi menjadi bahan limbah (Wahyudi dkk, 2021).

2.2.2. Jenis Perkerasan

Menurut Sukirman (1992), Permukaan jalan memainkan peran penting dalam memfasilitasi pergerakan kendaraan yang efisien. Saat ini, perkerasan jalan umumnya diklasifikasikan menjadi tiga kategori berbeda: perkerasan lentur, perkerasan kaku, dan perkerasan komposit. Secara umum bahwa perkerasan jalan ini terdiri dari beberapa lapis, seperti:

1. Lapis permukaan (*surface course*)
2. Lapis pondasi atas (*base course*)
3. Lapis pondasi bawah (*subbase course*)
4. Lapisan tanah dasar (*subgrad*)

1. Perkerasan Lentur (*flexible pavement*)

Perkerasan lentur adalah Elemen penting dalam menjamin kelancaran arus lalu lintas. Saat ini, perkerasan jalan umumnya terdiri dari tiga jenis: perkerasan lentur, perkerasan kaku, dan perkerasan komposit.

2. Perkerasan Kaku (*rigid pavement*)

Perkerasan kaku adalah Jenis perkerasan khusus yang dimaksud disebut perkerasan pelat beton. Strukturnya terdiri dari beberapa lapisan pelat beton, yang mungkin diperkuat atau tidak. Pelat ini langsung diletakkan di atas tanah dasar, dengan atau tanpa alas bawah. Pelat beton pada dasarnya memikul sebagian besar beban yang bekerja pada atau melintasi lapisan perkerasan kaku.

3. Perkerasan komposit (*composite pavement*)

Perkerasan komposit adalah Integrasi konstruksi perkerasan lentur dengan konstruksi perkerasan kaku. Kombinasi tersebut memungkinkan penempatan perkerasan kaku di atas perkerasan lentur, atau sebaliknya.

2.2.3. Campuran Beraspal

Aspal campuran panas merupakan lapisan kuat dan tahan lama yang terbuat dari campuran agregat, bahan aspal, bahan anti pengelupasan, dan serat solulose. Campuran ini dipanaskan dan dicampur di fasilitas pusat, lalu disebar dan dipadatkan di atas fondasi atau permukaan jalan yang telah disiapkan. Ini digunakan untuk membuat lapisan perataan, pondasi, perantara, atau keausan yang memenuhi persyaratan yang ditentukan.

Campuran beraspal adalah Memadukan agregat dan aspal. Aspal dalam campuran aspal berfungsi sebagai pengikat, merekatkan partikel-partikel agregat, sedangkan agregat berperan sebagai penguat. Sifat mekanis aspal dalam suatu campuran aspal diperoleh dari interaksi gesekan antar butiran agregat (interlocking), dan kekuatannya dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti distribusi ukuran partikel, kekasaran permukaan, bentuk butiran. butiran, dan ukuran terbesar dari agregat yang digunakan. Sedangkan sifat kohesif diperoleh dari sifat spesifik aspal yang digunakan. Oleh karena itu, kinerja campuran aspal sangat dipengaruhi oleh atribut agregat dan aspal, serta sifat campuran padat yang terbentuk dari amalgamasinya. Keberhasilan pencapaian perkerasan aspal dengan kinerja yang diinginkan bergantung pada kepatuhan terhadap persyaratan yang ditetapkan untuk material yang digunakan, terlepas dari kesesuaian peralatan dan proses kerja yang digunakan.

Aspal beton merupakan Campuran aspal diproduksi dengan mencampurkan agregat (termasuk agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi) dengan aspal yang berfungsi sebagai bahan pengikat. Kombinasi ini menjalani penilaian, pencampuran, dan distribusi yang cermat pada suhu yang tepat untuk menjamin kemampuannya menahan beban lalu lintas yang besar (Sinuhaji dkk, 2018).

Ketebalan keseluruhan campuran aspal harus sekurang-kurangnya setara dengan ketebalan yang diperlukan untuk masing-masing komponen. Jika sub-segmen tidak memenuhi kriteria yang ditentukan, sub-segmen tersebut akan direstrukturisasi atau dihapus seluruhnya, seperti ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Tabel Nominal Minimum Campuran Beraspal

| Jenis Campuran | | Simbol | Tebal Nominal Minimum (cm) |
|------------------------------|---------------|-------------|----------------------------|
| Split Mastic Asphalt – Tipis | | SMA – Tipis | 3,0 |
| Split Mastic Asphalt – Halus | | SMA – Halus | 4,0 |
| Split Mastic Asphalt – Kasar | | SMA – Kasar | 5,0 |
| Lastaston | Lapis Aus | HRS – WC | 3,0 |
| | Lapis Fondasi | HRS – Base | 3,5 |
| Laston | Lapis Aus | AC – WC | 4,0 |
| | Lapis Antara | AC – BC | 6,0 |
| | Lapis Fondasi | AC – Base | 7,5 |

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum Perumahan Rakyat 2018)

2.2.4. Jenis Campuran Beraspal

Jenis campuran beraspal dibedakan berdasarkan ketebalan pada setiap lapisan jenis, antara lain:

1. *Split Mastic Asphalt* (SMA)

Split Mastic asphalt disebut SMA (Stone Mastic Asphalt) terdiri dari tiga jenis: SMA Tipis, SMA Halus, dan SMA Kasar. Setiap campuran mempunyai ukuran partikel agregat maksimum masing-masing sebesar 12,5 mm, 19 mm, dan 25 mm. Campuran SMA yang mencakup aspal polimer masing-masing disebut sebagai SMA Tipis Modifikasi, SMA Halus Modifikasi, dan SMA Modifikasi Coarse SMA.

2. Lapis Tipis Aspal Beton (*Hot Rolled Sheet*, (HRS).

Beton Aspal Lapis Tipis (Lastaston), juga dikenal sebagai HRS, terdiri dari dua jenis campuran: HRS Foundation (HRS-Base) dan HRS Wear Layer (HRS-Wearing Course, HRS-WC). Ukuran agregat maksimum untuk setiap campuran adalah 19 mm. HRS-Base mengandung proporsi fraksi agregat kasar yang lebih tinggi dibandingkan dengan HRS-WC.

2.2.5. Agregat

Agregat sering digambarkan sebagai struktur kompak dan padat yang ditemukan di kerak bumi. Menurut ASTM (1974), agregat diartikan sebagai suatu zat yang tersusun dari mineral-mineral padat, baik yang berwujud massa besar maupun yang berkeping-keping. Konstituen utama konstruksi perkerasan jalan adalah agregat, yang menyumbang sekitar 95-95% dari total berat atau 75-85%

dari total volume. Sebab, kondisi permukaan jalan Konfirmasi juga ditentukan dengan mempertimbangkan ciri-ciri gugus dan hasil penggabungannya dengan zat lain. Mutu suatu bahan perkerasan jalan dinilai berdasarkan berbagai aspek agregat, seperti mutu, kebersihan, kekerasan, keawetan, bentuk butiran, tekstur permukaan, porositas, daya serap air, berat jenis, dan kelekatan pada aspal (Sukirman, 2003).

Bahan agregat, batu, atau butiran adalah Bahan padat dan kompak yang terdiri dari partikel sangat kecil. Agregat adalah istilah kolektif yang mencakup berbagai zat, termasuk batu pecah, abu batu, dan pasir. Agregat mempunyai fungsi yang sangat penting dalam infrastruktur transportasi, khususnya yang berkaitan dengan perkerasan jalan. Daya dukung permukaan jalan sangat dipengaruhi oleh karakteristik agregat yang digunakan. Memilih agregat yang tepat dan memenuhi parameter yang diperlukan sangat penting untuk keberhasilan konstruksi atau pemeliharaan jalan.

Sebagai bahan lapis perkerasan, agregat agregat berperan dalam mendukung dan menyebarkan beban roda kendaraan berlapis tanah. Secara umum agregat diklasifikasikan antara lain:

1. Ditinjau dari aspal bahan
2. Berdasarkan proses pengolahan
3. Berdasarkan besar partikel-partikel agregat

Karakteristik dan keunggulan agregat menentukan kemampuannya dalam menopang beban lalu lintas. Agregat dengan berbagai ukuran harus tersebar merata di seluruh lapisan perkerasan jalan fleksibel. Penggunaan partikel agregat dengan ukuran besar lebih menguntungkan apabila:

1. Kemudahan pelaksanaan pekerjaan berkurang
2. Segregasi bertambah besar
3. Kemungkinan terjadi gelombang melintang.

Sifat agregat menentukan kualitas sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dikelompokkan menjadi sebagai berikut antara lain:

1. Kekuatan dan keawetan (*strength and durability*) lapisan perkerasan, yang dipengaruhi sebagai berikut:
 - a. Gradasi atau distribusi partikel berdasarkan ukuran agregat mempunyai peranan penting dalam mengatur kestabilan garis keras.

Gradasi agregat berdampak langsung pada dimensi rongga butir, yang pada gilirannya menentukan stabilitas dan kesederhanaan pemasangan. Gradasi agregat ditentukan dengan menggunakan proses analisis saringan, yang melibatkan penggunaan kumpulan saringan..

- b. Variasi tersebut meningkat seiring dengan semakin besarnya ukuran maksimum partikel agregat yang digunakan.
 - c. Ukurannya perlu diatur dalam urutan menaik, mulai dari kecil dan diakhiri dengan besar. Ukuran agregat maksimum yang digunakan dibatasi oleh ketebalan lapisan yang diinginkan.
 - d. Kadar lempung yaitu Kehadiran tanah liat dalam kombinasi agregat dengan aspal berdampak negatif terhadap kualitasnya dengan menyelubungi partikel agregat, sehingga mengurangi hubungan antara agregat dan aspal. Masuknya tanah liat pada suatu wilayah memerlukan cakupan aspal yang lebih luas, karena tanah liat mempunyai kecenderungan untuk menyerap air sehingga menyebabkan terjadinya degradasi lapisan aspal. Morfologi dan karakteristik permukaan agregat mempengaruhi stabilitas lapisan padat yang dihasilkan agregat.
 - e. Kekerasan dan ketahanan: yaitu Ketahanan mengacu pada kemampuan untuk menahan kekuatan mekanis atau kimia tanpa hancur atau rusak.
2. Kemampuan dilapisi aspal dengan baik, dipengaruhi oleh:
 - a. Kemungkinan basah
 - b. Porositas
 - c. jenis aggregate.
 3. Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman, dipengaruhi oleh:
 - a. Tahan geser (*skid resistance*)
 - b. Campuran yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan (*bituminuous mix workability*).

Berdasarkan cara pengolahannya, agregat perkerasan jalan dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu agregat alam, agregat olahan (agregat buatan), dan agregat buatan yang berasal dari hasil samping pabrik semen dan mesin penghancur batu:

1. Agregat alam (*natural aggregates*).

Agregat alam adalah agregat yang digunakan dalam bentuk alamiahnya dengan sedikit atau tanpa pemrosesan sama sekali. Agregat ini terbentuk dari proses erosi alamiah atau proses pemisahan akibat angin, air, pergeseran es, dan reaksi kimia. Aliran gleyster dapat menghasilkan agregat dalam bentuk bongkahan bulat dan batu krikil, sedangkan aliran air menghasilkan batuan yang bulat dan licin.

Pasir dan kerikil adalah jenis agregat alami utama yang digunakan dalam konstruksi jalan. Kerikil biasanya digambarkan sebagai material dengan ukuran lebih besar dari 6,35 mm. Pasir dicirikan sebagai bahan granular dengan ukuran partikel berkisar antara 0,075 mm hingga 6,35 mm. Partikel dengan ukuran lebih kecil dari 0,75 mm disebut sebagai mineral pengisi. Pasir dan kerikil juga dikategorikan berdasarkan asalnya. Material yang diekstraksi langsung dari tambang terbuka, tanpa melalui proses tambahan apa pun, disebut material pit run. Demikian pula material yang diperoleh dari tepian sungai disebut material sungai atau material tepian uap. Endapan karang menunjukkan variasi komposisi, biasanya terdiri dari pasir dan tanah liat. Pasir pantai tersusun atas butiran-butiran yang relatif konsisten, namun pasir sungai sering kali mengandung koral, tanah liat, dan lanau dalam jumlah yang lebih banyak.

2. Agregat yang diproses (*manufacture agregat*)

Agregat olahan mengacu pada batuan yang telah mengalami fragmentasi dan filtrasi sebelum dimanfaatkan. Fragmentasi agregat dilakukan dengan tiga tujuan: mengubah tekstur permukaan partikel dari licin menjadi kasar, memodifikasi bentuk partikel dari melingkar menjadi bersudut, dan mengurangi atau meningkatkan dispersi dan kisaran ukuran partikel. Tujuan dari penguraian batuan krakal yang sangat besar adalah untuk mendapatkan batu yang dapat digunakan dengan ukuran yang diinginkan, sekaligus mengubah bentuk dan teksturnya.

Penyaringan yang dilakukan pada agregat yang retak akan menghasilkan partikel agregat dalam kisaran gradasi tertentu. Penjaminan konsistensi dan kualitas campuran aspal sangat bergantung pada

pemeliharaan gradasi agregat yang digunakan. Pemanfaatan agregat hancur yang belum diolah dari alat pemecah batu, baik tanpa penyaringan atau dengan penyaringan minimal, dapat dirasionalisasikan berdasarkan pertimbangan ekonomi. Manajemen operasi fraksional yang efektif sangat penting dalam menentukan apakah kadar agregat yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi kerja. Batu pecah, baik yang sudah disaring atau belum, disebut sebagai agregat pecah dan berkualitas tinggi bila digunakan dalam konstruksi jalan.

3. Agregat buatan

Agregat ini diperoleh melalui proses kimia atau fisik yang melibatkan banyak bahan, sehingga menghasilkan bahan baru yang memiliki kualitas serupa dengan agregat. Berbagai bentuk agregat berasal dari operasi industri dan bahan yang sengaja diolah untuk digunakan sebagai agregat atau komponen pengisi.

Terak adalah jenis agregat yang diperoleh sebagai produk sekunder selama proses produksi. Batuan ini merupakan zat bukan logam yang terbentuk di permukaan sebagai hasil peleburan atau ekstraksi bijih besi selama proses peleburan. Setelah besi dikeluarkan dari cetakan, terak akan hancur menjadi partikel-partikel yang lebih kecil baik dengan merendamnya atau dengan mematahkannya setelah dingin. Produksi langsung agregat sintetik merupakan perkembangan yang relatif baru. Agregat ini dihasilkan melalui proses kalsinasi, yang melibatkan pembakaran tanah liat dan mineral lainnya. Produk akhir yang dihasilkan biasanya ringan dan kurang memiliki daya tahan yang signifikan. Agregat buatan dapat digunakan untuk konstruksi dek jembatan atau perkerasan jalan yang memiliki karakteristik kualitas tinggi yang sama dengan lapisan permukaan yang memerlukan ketahanan optimal terhadap gesekan.

2.2.6. Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar yang ditetapkan untuk desain adalah bagian yang tersisa pada saringan No. 4 (4,75 mm) dan harus mempunyai kebersihan, kekerasan, daya tahan, dan bebas dari tanah liat atau bahan lain yang tidak diinginkan, sesuai dengan kriteria yang ditentukan. Persentase agregat kasar harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah dan harus dibuat dalam ukuran

tertentu yang telah ditentukan. Agregat kasar harus memiliki sudut, khususnya mengacu pada proporsi berat agregat yang melebihi 2,36 mm dan menunjukkan satu atau lebih permukaan retak. Ukuran agregat maksimum mengacu pada ukuran saringan terbesar yang lebih kecil dari saringan atas dan mengandung bahan kurang dari 100%. Informasi ini dapat ditemukan pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Ketentuan agregat kasar untuk campuran beraspal

| Pengujian | | Metode Pengujian | Nilai |
|--|--|--------------------------------|-----------|
| Kekealan bentuk agregat Terhadap larutan | | Natrium sulfat | Maks 12% |
| | | Magnesium sulfat | Maks 18% |
| Abrasi dengan mesin Los Angeles | 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 Pecahan 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 C117:2 | Maks 1 % |

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat 2018)

2.2.7. Agregat halus

Agregat halus harus terdiri dari bahan yang bersih dan tahan lama, bebas dari tanah liat atau bahan lain yang tidak diinginkan. Agregat halus harus bersumber dari batu yang memenuhi kriteria mutu yang ditentukan. Untuk memenuhi standar kualitas. Batu pecah yang berkualitas tinggi harus berasal dari batu yang masih asli. Agregat halus yang digunakan harus terdiri dari saringan pasir atau batu pecah, dan harus terbuat dari bahan yang mampu lolos saringan dengan ukuran mata jaring No. 4 (4,75 mm).

Untuk memperoleh agregat halus yang memenuhi ketentuan adalah sebagai berikut:

1. Bahan baku agregat halus harus dicuci terlebih dahulu secara mekanis sebelum dimasukkan ke dalam mesin penghancur batu.
2. Penting untuk tidak langsung menggunakan hasil dari langkah awal penghancuran batu saat menggunakan layar scalping.
3. Keluaran pertama harus diayak menggunakan vibrating scalping screen sebelum dikirim dari peralatan penghancur primer ke mesin penghancur sekunder.
4. Mesin penghancur tahap kedua akan memecah material tambahan apa pun yang digunakan oleh layar vibro scalping. Hasil pengayakan yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai agregat halus.
5. Hanya material yang berhasil melewati layar penskalaan vibro yang dapat digunakan secara eksklusif sebagai komponen material untuk Lapisan Fondasi Agregat..

Agregat halus harus dihancurkan secara mekanis dan pasir harus disimpan secara terpisah. Keduanya harus memenuhi persyaratan yang ditentukan pada tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Ketentuan agregat halus untuk campuran beraspal

| Pengujian | Metode 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 Butir-butir | SNI 03-4141-1996 | Maks. 1% |
| Pengujian | Metode Pengujian | Nilai |
| Agregat Lolos Ayakan No.200 | SNI ASTM C117:2012 | Maks. 10% |

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat 2018).

2.2.8. Bahan pengisi (*filler*)

Bahan pengisi (*filler*) adalah Zat granular digunakan sebagai bahan tambahan untuk membuat campuran aspal. Yang dimaksud dengan "halus" adalah bagian debu mineral yang mampu lolos saringan No. 200 (0,074). Debu ini dapat mencakup beberapa bentuk debu, seperti debu batu kapur, debu kapur mati, debu kapur magnesium, dolomit, semen, dan abu terbang tipe C dan F, sebagaimana ditentukan oleh AASHTOM303-89 (2014). Debu batu dan bahan pengisi tambahan harus benar-benar kering dan tidak ada gumpalan. Bila diuji melalui filtrasi, harus terdiri dari bahan yang dapat lolos saringan No.30 (0,600 mm) dan paling sedikit 75% bahan harus dapat lolos saringan No.30 (0,600 mm) dan mempunyai sifat non-plastik . Penambahan bahan pengisi bersama dengan semen dan bahan pengisi lainnya sebaiknya berkisar antara 1% sampai 3% dari berat total agregat. Namun pada SMA (Stone Mastic Asphalt) tidak ada batasan khusus mengenai kandungan fillernya.

Penggunaan bahan pengisi (*filler*) dalam campuran aspal akan mempengaruhi karakteristik campuran aspal dan dapat menyebabkan dampak, sebagai berikut:

1. Penggunaan bahan pengisi pada campuran aspal akan berdampak pada karakteristiknya sehingga mempengaruhi penyebaran dan pemadatan campuran. Selain itu, pemilihan bahan pengisi akan mempengaruhi karakteristik elastis dari kombinasi dan kerentanannya terhadap air.
2. Dampak penggunaan *filler* terhadap karakteristik campuran aspal dalam hal ini masih digolongkan menjadi:
 - a. Kehadiran bahan pengisi dalam suatu campuran mempunyai pengaruh langsung terhadap viskositasnya, dimana luas permukaan bahan pengisi yang lebih besar menyebabkan peningkatan viskositas.
 - b. Pengaruh suhu dan pemanasan masing-masing bahan pengisi mempunyai pengaruh yang berbeda-beda terhadap bagian suhu.

2.2.9. Gradasi Agregat Gabungan

Agregat dan bahan pengisi dalam campuran aspal harus memenuhi batasan yang ditentukan, yang dinyatakan dalam persentase beratnya dalam campuran. Desain campuran dan rasio untuk gradasi agregat gabungan harus mematuhi parameter yang ditentukan pada tabel 2.4. Untuk mencapai rentang HRS - WC atau HRS - Base yang luas, minimal 80% agregat harus lolos saringan No. 8 (2,36 mm) dan juga lolos saringan No. 30 (0,600 mm).

Gradasi agregat adalah Dispersi perubahan ukuran butir secara keseluruhan. Gradasi agregat berdampak langsung pada ukuran rongga dalam campuran dan memainkan peran penting dalam menentukan kemampuan kerja dan stabilitas campuran. Penentuan gradasi agregat dilakukan dengan menggunakan analisis saringan, dimana sampel agregat harus melewati serangkaian saringan. Apabila nilai yang diperoleh tidak memenuhi kesenjangan yang dipersyaratkan sebagaimana ditentukan pada tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Gradasi Agrgat Gabungan Untuk Campuran Beraspal

| No. Saringan | Ukuran Ayakan (mm) | % Berat yang lolos terhadap total agregat dalam campuran | | |
|--------------|--------------------|--|--------|--------|
| | | Laston (AC) | | |
| | | WC | BC | Base |
| | 37,5 | | | 100 |
| 1" | 25 | | 100 | 90-100 |
| 3/4" | 19 | 100 | 90-100 | 76-90 |
| 1/2" | 12,5 | 90-100 | 75-90 | 60-78 |
| 3/8" | 9,5 | 77-90 | 66-82 | 52-71 |
| #4 | 4,75 | 53-69 | 46-64 | 35-54 |
| #8 | 2,36 | 33-53 | 30-49 | 23-41 |
| #16 | 1,18 | 21-40 | 18-38 | 13-30 |
| #30 | 0,600 | 14-30 | 12-28 | 10-22 |
| #50 | 0,300 | 9-22 | 7-20 | 6-15 |
| #100 | 0,150 | 6-15 | 5-13 | 4-10 |
| #200 | 0,075 | 4-9 | 4-8 | 3-7 |

(Sumber: Kementrian Pekerjann Umum dan Perumahan Rakyat 2018).

2.2.10. Berat Jenis Dan Penyerapan

Berat jenis adalah Berat jenis adalah nilai perbandingan antara massa dan volume bahan yang kita uji. Sedangkan daya serap berarti tingkat atau kemampuan suatu bahan dalam menyerap air. Banyaknya rongga atau pori yang terdapat pada agregat disebut porositas. Pengukuran berat jenis agregat diperlukan untuk perencanaan campuran aspal dengan agregate. Campuran ini didasarkan pada perbandingan berat karena lebih akurat dibandingkan perbandingan volume dan juga untuk menentukan jumlah pori pada agregat. Berat jenis yang kecil akan mempunyai volume yang besar sehingga dengan berat yang sama maka dibutuhkan aspal yang banyak, begitu pula sebaliknya.

Agregat yang memiliki proporsi pori-pori besar yang tinggi akan memerlukan jumlah aspal yang lebih banyak karena daya serapnya meningkat sehingga menyebabkan berkurangnya ketebalan lapisan aspal. Kuantifikasi jumlah pori-pori ditentukan dengan menilai kapasitas agregat dalam menyerap air. Nilai serapan mengacu pada perubahan berat keseluruhan agregat yang disebabkan oleh penyerapan air melalui pori-porinya pada kondisi kering.

Ada beberapa macam berat jenis yaitu:

1. Berat jenis curah (*bulk specific gravity*)

Adalah Agregat yang memiliki proporsi pori-pori besar yang tinggi akan memerlukan jumlah aspal yang lebih banyak karena daya serapnya meningkat sehingga menyebabkan berkurangnya ketebalan lapisan aspal. Kuantifikasi jumlah pori-pori ditentukan dengan menilai kapasitas agregat dalam menyerap air. Nilai serapan mengacu pada perubahan berat keseluruhan agregat yang disebabkan oleh penyerapan air melalui pori-porinya pada kondisi kering.

2. Berat jenis kering permukaan jenis (*SSD specific gravity*)

Berat jenis adalah pengukuran yang mempertimbangkan gabungan volume pori-pori yang hanya dapat diserap oleh aspal dan volume partikel.

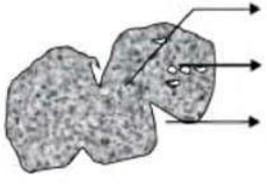
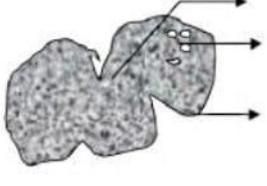
3. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)

Adalah Berat jenis menentukan volume pori-pori yang hanya dapat diserap oleh aspal dan volume partikel.

4. Berat jenis efektif (*effective specific gravity*)

Merupakan berat jenis yang memperhitungkan volume pori-pori yang hanya dapat diserap oleh aspal ditambah dengan volume partikel menyerap air yang selanjutnya akan terus diperhitungkan dalam perencanaan campuran agregat dengan aspal.

Berat jenis agregat ditentukan dengan mengukur seluruh volume agregat, yang meliputi volume setiap lubang yang dapat diisi air setelah direndam selama 24 jam. Berat jenis semu mengacu pada volume keseluruhan agregat, tidak termasuk volume pori-pori yang dapat terisi air setelah direndam selama 24 jam. Berat jenis efektif adalah ukuran volume keseluruhan agregat, tidak termasuk volume pori-pori yang dapat menyerap aspal. Hal ini diwakili oleh persamaan berikut. 2.1

| | |
|---|--|
|  | <p>Berat Jenis Bulk</p> <p>= Berat kering oven / (Vol Agregat + Vol Impermeable dan Permeabel Voids)</p> <p>ASTM C127 dan 128</p> |
|  | <p>Berat Jenis Semu (Apparent)</p> <p>= Berat kering oven / (Vol Agregat + Vol Impermeable)</p> <p>ASTM C127 dan 128</p> |

Gambar 2. 2 Berat jenis Agregat

(Sumber: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah 2002).

Perhitungan berat jenis ditunjukkan dalam persamaan 2.1 – persamaan 2.3

Berat Jenis Semu:

$$G_{sa} = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_w} \quad (2.1)$$

Berat Jenis Curah:

$$G_{sb} = \frac{W_s}{(V_s + V_{pp}) \cdot \gamma_w} \quad (2.2)$$

Berat Jenis Efektif

$$G_{se} = \frac{W_s}{(V_s + V_{pp} - V_{ap}) \cdot \gamma_w} \quad (2.3)$$

Keterangan:

W_s : Berat agregat kering

γ_w : Berati isi air = 1g/cm³

V_s : Volume bagian padat agregat

V_{pp} : Volume pori serap aspal

$V_{pp} - V_{ap}$: Volume pori serap air yang tidak meresap aspal

Bila berat jenis curah digunakan, hal ini menunjukkan bahwa aspal tidak terserap oleh pori-pori yang mempunyai kemampuan menyerap air. Gagasan tentang berat jenis efektif dianggap sebagai metode paling akurat untuk memperkirakan jumlah rongga udara dalam campuran aspal. Saat menggunakan campuran agregat yang berbeda, penting untuk memperhitungkan berat jenis karena setiap beban memiliki berat jenis yang berbeda.

2.2.10. Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Kasar

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis agregat kasar serta kemampuannya menyerap air. Besarnya berat jenis yang diperiksa adalah untuk agregat dalam keadaan kering, berat kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*), berat jenis semu (*apparent*). Yang sesuai SNI 1969: 2008 dengan perhitungan Persamaan. 2.4 – Persamaan 2.7

1. Berat jenis curah (*bulk specific gravity*):

$$S_g = \frac{B_k}{B_j - B_a} \quad (2.4)$$

2. Berat jenis permukaan jenuh (*saturated surface dry*):

$$S_s = \frac{B_j}{B_j - B_a} \quad (2.5)$$

3. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*):

$$S_a = \frac{B_k}{B_k - B_a} \quad (2.6)$$

4. Penyerapan air (*absortion*):

$$S_w = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \quad (2.7)$$

Keterangan:

B_k : Berat benda uji kering oven, dalam gram

B_j : Berat benda uji kering permukaan jenuh, dalam gram

B_a : Berat benda uji kering permukaan jenuh didalam air, dalam gram

Berat jenis dapat diukur dengan ketelitian 0,01, sedangkan serapan dapat diukur dengan ketelitian 0,1 persen. Lampiran berisi metodologi matematika dan tiga kategori berat jenis dan serapan berbeda yang dapat digunakan untuk menilai konsistensi data atau menghitung nilai yang tidak dilaporkan berdasarkan data yang tersedia. Untuk menguji agregat kasar secara akurat, agregat kasar harus diperiksa dalam kondisi kelembaban aslinya, tanpa melalui pengeringan atau perendaman buatan. Dalam laporan, harap sertakan sumber bahan dan tindakan yang diambil untuk mencegah hilangnya kelembapan sebelum pengujian.

2.2.10.1. Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Halus
 Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis agregat halus serta kemampuannya menyerap air. Besarnya berat jenis yang diperiksa adalah untuk agregat dalam keadaan kering. Berat kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*), berat jenis semu (*apparent*). Tang sesuai SNI 1970 : 2008 dengan perhitungan Persamaan. 2.8 – Persamaan. 2.11.

1. Berat jenis curah (*bulk specific gravity*)

$$S_g = \frac{Bk}{(B+S-C)} \quad (2.8)$$

2. Berat jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*):

$$S_s = \frac{S}{(B+S-C)} \quad (2.9)$$

3. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*):

$$S_w = \left(\frac{S-Bk}{Bk} \right) \times 100\% \quad (2.10)$$

4. Penyerapan air (*absortion*):

$$S_w = \left(\frac{S-Bk}{Bk} \right) \times 100\% \quad (2.11)$$

Keterangan:

Bk : Berat benda uji kering oven, dalam gram

B : Berat piknometer yang berisi air, dalam gram

C : Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan, dalam gram

S : Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan, dalam gram

Berat jenis dengan ketelitian 0,01 paling dekat dan serapan dengan ketelitian 0,1 persen. Terdapat pendekatan matematis dan tiga jenis berat jenis dan serapan pada lampiran yang dapat digunakan, dan mungkin berguna dalam memeriksa tingkat konsistensi data atau menghitung nilai yang tidak dilaporkan menggunakan data lain yang dilaporkan. Jika agregat kasar diuji dalam kondisi kelembaban alaminya, bukan dengan mengeringkannya dalam oven dan merendamnya selama (24+4) jam dalam air, laporkan sumber bahan dan prosedur yang digunakan untuk mencegah kekeringan sebelum pengujian.

1. Berat total piknometer, uji dan air:

$$C = 0,9975. Va + S + W \quad (2.12)$$

2. Berat piknometer dan air:

$$B = 0,9975. Va + W \quad (2.13)$$

Keterangan:

C : Berat piknometer, benda uji dan air pada batas pembacaan, dalam gram

Va : Volume air yang dimasukkan ke dalam piknometer, dalam mililiter

B : Berat piknometer dengan air pada batas pembacaan, dalam gram

S : Berat benda uji pada saat kondisi jenuh kering permukaan, dalam gram

W : Berat piknometer kosong, dalam gram

Jika agregat halus diuji pada kondisi kelembaban alaminya, tidak dengan dikeringkan terlebih dahulu dalam oven dan direndam selama (24+4) jam di dalam air, laporkan sumber benda uji dan prosedur yang dipakai untuk mencegah kekeringan sebelum diuji.

2.2.11. Aspal (*Asphalt*)

Aspal merupakan suatu produk berbasis minyak yang merupakan turunan dari proses penyulingan minyak bumi, dan dikenal dengan nama aspal keras. Selain itu,

aspal terdapat di alam secara alamiah, aspal ini disebut aspal alam.

Aspal yang dimodifikasi telah mendapat pengakuan luas. Aspal yang dimodifikasi dibuat dengan memasukkan zat tambahan ke dalam aspal untuk meningkatkan atau mengubah karakteristik reologinya, sehingga menghasilkan bentuk aspal yang berbeda.

Aspal, juga dikenal sebagai bitumen, merupakan zat berwarna hitam kecoklatan yang menunjukkan sifat viskoelastik. Artinya akan menjadi lunak dan meleleh bila terkena suhu tinggi, dan mengeras kembali bila didinginkan. Sifat aspal yang viskoelastik memungkinkan aspal secara efektif membungkus dan menahan agregat baik selama proses pembuatan maupun selama masa pakainya.

2.2.11.1. Aspal Hasil Destilasi

Minyak mentah mengalami destilasi, suatu prosedur yang melibatkan pemisahan fraksi berbeda dari minyak mentah. Proses destilasi melibatkan peningkatan suhu dimana minyak mentah dipanaskan. Pada proses penyulingan, pada suhu tertentu akan dihasilkan suatu produk berbahan dasar minyak yang mengandung berbagai jenis aspal, antara lain:

1. Aspal Keras

Aspal keras adalah Proses mengekstraksi fraksi-fraksi ringan yang ada dalam minyak bumi memerlukan pemisahan fraksi-fraksi ini dengan metode destilasi langsung, yang pada akhirnya menghasilkan residu. Untuk mencapai ciri-ciri aspal keras yang ideal, sangat penting untuk mengontrol proses pemurnian secara cermat untuk mengatur karakteristik produk akhir.

Hal ini dilakukan dengan mencampurkan berbagai jenis minyak mentah sebelum melakukan proses destilasi. Proses pencampuran ini akan menghasilkan aspal padat dengan karakteristik yang beragam, tergantung atribut yang diinginkan. Teknik yang umum digunakan untuk mendapatkan aspal dengan viskositas tertentu adalah dengan mencampurkan aspal keras yang sangat encer dengan aspal yang lebih encer, sehingga menghasilkan aspal dengan viskositas sedang.

Selain teknik penyulingan vakum, yang melibatkan pemanasan dan penyedotan minyak mentah untuk menghasilkan aspal, aspal keras juga dapat diproduksi dengan metode ekstraksi pelarut. Selama prosedur ini, fraksi minyak mentah diekstraksi, menghasilkan aspal sebagai bahan sisa. Menggunakan informasi yang

diberikan pada Tabel 2.5

Tabel 2. 5 Tabel ketentuan aspal

| No | Jenis Pengujian | Metode Pengujian | Tipe I Aspal Pen.60-70 | Tipe II Aspal Modifikasi | |
|---|---|---|------------------------|--------------------------|-----------|
| | | | | Elastomer Sintesis | |
| | | | | PG 70 | PG 76 |
| 1 | Penetrasi pada 25°C (0,1 mm) | SNI 2456:2011 | 60-70 | Dilaporkan ¹ | |
| 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 Kinematis 135 °C (cst) ³ | ASTM D2170-10 | ≥ 300 | ≤ 3000 | |
| 4 | Titik Lembek (°C) | SNI 2434:2011 | ≥ 48 | Dilaporkan ² | |
| 5 | Daktalitas pada 25°C, (cm) | SNI 2432:2011 | ≥ 100 | - | |
| 6 | Titik Nyala (°C) | SNI 2433:2011 | ≥ 232 | ≥ 230 | |
| 7 | Kelarutan dalam Trichloethylene (%) | AASHTO T44-14 | ≥ 99 | ≥ 99 | |
| 8 | Berat Jenis | SNI 244:2011 | $\geq 1,0$ | - | |
| 9 | Stabilitas Penyimpanan Perbedaan Titik Lembek (°C) | ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2001 | - | $\leq 2,2$ | |
| 10 | Kadar Parafin Lilin (%) | SNI 03-3639-2002 | ≤ 2 | | |
| Pengujian Residu hasil TFOT (SNI06-2440-19910 ATAU RTFOT (SNI-03-6835-2002): | | | | | |
| 11 | Berat Yang Hilang (%) | SNI 06-2441-991 | $\leq 0,8$ | $\leq 0,8$ | |
| 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 | ≥ 54 | ≥ 54 | ≥ 54 |
| 14 | Daktalitas pada 25°C (cm) | SNI 2432:2011 | ≥ 50 | ≥ 50 | ≥ 25 |
| Residu aspal segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperature 100°C dan tekanan 2,1 Mpa | | | | | |
| 15 | Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik ≤ 5000 kpa, (°C) | SNI 06-6442-2000 | - | 31 | 34 |

(Sumber: Kementerian Pekerjann Umum dan Perumahan Rakyat 2018).

2. Aspal Cair (*cutback asphalt*)

Aspal cair dibuat dengan melarutkan aspal padat menggunakan pelarut berbahan dasar minyak. Aspal ini juga dapat diproduksi langsung dari proses penyulingan, dimana fraksi minyak ringan yang terdapat dalam minyak mentah digunakan. Adanya sisa minyak pada proses distilasi dan laju penguapan pelarut minyak yang digunakan akan mempengaruhi jenis aspal cair yang dihasilkan.

Berdasarkan informasi tersebut, aspal cair dapat dikategorikan ke dalam berbagai kategori secara spesifik:

- a. Aspal cair cepat matang (*RC = rapid curing*), yaitu aspal bahan pelarutnya cepat menguap. Pelarut yang digukan pada aspal jenis ini biasanya bensin.
- b. Aspal cair mantap sedang (*MC = medium curing*), yaitu aspal cair yang bahan

pelarutnya tidak begitu cepat menguap. Pelarut yang digunakan pada aspal jenis ini biasanya minyak tanah.

- c. Aspal cair lambat (*SC = slow curing*), yaitu aspal cair yang bahan pelarutnya lambat menguap. Pelarut yang digunakan pada aspal jenis ini biasanya solar.

Viskositas aspal cair ditentukan oleh perbandingan pelarut terhadap aspal keras atau yang ada dalam aspal cair. Viskositas aspal cair tipe MC-800 lebih besar dibandingkan MC-200. Aspal cair mempunyai kegunaan ganda, baik sebagai bahan pengikat pada campuran aspal maupun sebagai primer atau sealant. Pemanasan mungkin diperlukan untuk menurunkan viskositas aspal ini selama pengaplikasiannya.

3. Aspal Emulsi

Aspal emulsi dibuat dengan mengemulsi aspal padat. Selama prosedur ini, partikel aspal padat diisolasi dan didistribusikan secara merata dalam air yang mengandung pengemulsi (juga dikenal sebagai emulgator). Partikel aspal tersebar luas dan berukuran sangat kecil, sebagian besar berbentuk koloid.

Jenis *emulsifier* yang digunakan sangat mempengaruhi jenis dan kecepatan pengikat aspal emulsi yang dihasilkan. Berdasarkan muatan listrik zat pengemulsi yang digunakan, aspal emulsi yang dihasilkan dapat dibedakan menjadi:

- a. Aspal emulsi anonik, yaitu aspal emulsi yang berion negatif.
- b. Aspal emulsi kationik, yaitu aspal emulsi yang berion positif.
- c. Aspal emulsi non-ionik, yaitu aspal emulsi yang tidak berion (netral).

2.2.11.2. Aspal Alam

Aspal alam adalah aspal yang secara alamiah terjadi di alam. Berdasarkan depositnya aspal alam ini dikelompokkan ke dalam 2 kelompok, yaitu:

1. Aspal Danau (*Lake Asphalt*)

Kehadiran aspal ini berasal dari Danau Trinidad, Venezuela, dan Lawele. Aspal ini tersusun dari bitumen, mineral, dan zat organik lainnya. Aspal ini mempunyai tingkat penetrasi yang rendah dan titik leleh yang tinggi. Karena tingginya viskositas aspal ini, maka perlu dilakukan pencampuran dengan aspal keras yang mempunyai tingkat penetrasi yang tinggi agar dapat mencapai tingkat penetrasi yang diinginkan.

2. Aspal Batu (*Rock Asphalt*)

Aspal batu Kentucky dan Buton mengacu pada aspal alami yang ditemukan di wilayah Kentucky Amerika Serikat dan di pulau Buton di Indonesia. Aspal yang ditemukan di endapan ini terbentuk di dalam celah pada batu kapur dan batu pasir. Batuan ini mengandung aspal yang mencapai 12-35% dari sebagian besarnya. Aspal tersebut memiliki tingkat penetrasi berkisar antara 0 hingga 40. Untuk memanfaatkannya, endapan tersebut perlu melalui prosedur penambangan. Selanjutnya, aspal tersebut diperoleh kembali dan digabungkan dengan minyak lunak atau aspal keras yang memiliki tingkat penetrasi lebih tinggi. Untuk mencapai tingkat penetrasi yang diinginkan, perlu dilakukan peningkatan tingkat panas selama produksi campuran aspal. Aspal batu, setelah dikembangkan lebih lanjut, menghasilkan partikel yang berukuran lebih kecil dari 1 mm dan juga damar wangi.

2.2.11.3. Sifat Fisik Aspal

Sifat fisik aspal yang sangat mempengaruhi perencanaan, produksi dan kinerja campuran beraspal antara lain adalah:

1. Durabilitas

Kinerja aspal sangat dipengaruhi oleh kualitasnya setelah digunakan sebagai bahan pengikat pada campuran aspal dan diaplikasikan di lapangan. Sifat-sifat aspal mengalami perubahan yang signifikan akibat proses oksidasi dan pelapukan yang terjadi pada saat pencampuran, pengangkutan, dan penyebaran campuran aspal di lapangan. Perubahan sifat ini akan mengakibatkan menurunnya keawetan aspal atau dengan kata lain aspal akan mengalami penuaan. Daya tahan aspal mengacu pada kemampuan aspal dalam memperlambat proses penuaan.

Pengujian ketahanan aspal bertujuan untuk mengetahui sejauh mana aspal mempertahankan karakteristik aslinya selama mengalami proses penuaan. Meskipun terdapat berbagai aspek yang berkontribusi terhadap hal tersebut, aspal yang memiliki daya tahan yang sangat baik akan menghasilkan campuran dengan kinerja yang terpuji. Keawetan aspal sering dinilai dengan pengujian kuantitatif seperti uji penetrasi, titik lunak, penurunan berat, dan uji daktilitas. Pengujian dilakukan terhadap benda uji yang telah menjalani Pressure Aging Vessel (RTFOT), Thin Film Oven Test (TFOT), dan Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT). Dua fase penuaan terakhir biasanya digunakan untuk menilai umur

panjang aspal.

Jika aspal mengalami pemanasan atau penuaan, kualitasnya, khususnya viskositas dan penetrasi, akan mengalami perubahan. Aspal dengan durabilitas tinggi hanya mengalami sedikit perubahan, hal ini menunjukkan adanya variasi kekentalan antara aspal yang durabilitasnya baik dan buruk.

2. Adhesi Dan Kohesi

Adesi adalah Partikel aspal memiliki kemampuan untuk melekat satu sama lain, sedangkan kohesi mengacu pada kemampuan aspal untuk melekat dan menyatukan agregat. Memahami karakteristik edisi aspal dan kohesi sangat penting untuk membuat campuran aspal, karena sifat-sifat ini mempunyai dampak yang signifikan terhadap kinerja dan umur panjang campuran. Uji keuletan aspal merupakan suatu metode kualitatif yang dapat digunakan secara tidak langsung untuk menilai tingkat kekakuan atau keuletan aspal keras. Aspal keras dengan nilai daktilitas rendah merupakan aspal yang mempunyai kekuatan tinggi. Aspal keras dengan nilai daktilitas rendah merupakan aspal yang mempunyai daktilitas lebih rendah jika dibandingkan dengan aspal dengan nilai daktilitas lebih tinggi. individu yang memanjang secara vertikal.

Uji pelapisan aspal pada batuan merupakan metode kuantitatif yang digunakan untuk menilai daya rekat (kohesi) antara aspal dan batuan. Selama percobaan ini, agregat yang telah dilapisi lapisan aspal direndam dalam air dan dibiarkan tidak terganggu atau diaduk selama 24 jam. Karena adanya air, atau kombinasi air dan gaya mekanis, lapisan aspal pada permukaan agregat akan terlepas kembali. Aspal dengan kohesi tinggi akan terikat kuat pada permukaan agregat, sehingga minimal atau tidak ada pengelupasan bila terkena air atau campuran air dan gaya mekanis.

3. Pengerasan dan Penuaan

Penuaan aspal adalah Parameter yang efisien untuk mengevaluasi keawetan campuran aspal. Penuaan aspal terutama disebabkan oleh dua faktor: penguapan fraksi minyak ringan di dalam aspal, yang menyebabkan oksidasi dan penuaan jangka pendek, dan oksidasi lambat yang terjadi seiring waktu, yang mengakibatkan penuaan jangka panjang.

Kriteria efektif untuk menilai umur panjang campuran aspal. Penuaan aspal terutama disebabkan oleh dua faktor: penguapan fraksi minyak ringan yang ada di

aspal, yang menyebabkan oksidasi dan penuaan jangka pendek, dan oksidasi bertahap yang terjadi seiring waktu, sehingga mengakibatkan penuaan jangka panjang.

2.2.11.4. Pemeriksaan *Properties* Aspal

Utomo (2017) Aspal merupakan Kualitas dan kuantitas bahan pengikat agregat merupakan faktor penting yang mempengaruhi kinerja suatu campuran aspal yang digunakan sebagai bahan pembuatan jalan. Serangkaian pengujian dilakukan untuk menganalisis karakteristik aspal kombinasi tersebut, yang meliputi:

1. Uji Penetrasi

Tujuan percobaan ini adalah untuk mengetahui kekerasan atau kelembutan (soliditas atau semi-soliditas) aspal dengan cara memasukkan jarum penetrasi dengan dimensi tertentu, memberikan beban tertentu dalam jangka waktu tertentu, dan melakukan pengujian pada suhu tertentu. Prosedurnya adalah dengan mengukur berat 100 gram aspal dengan menggunakan alat penopang jarum. Sebuah bola berdiameter 1 milimeter dikenai suhu 250°C selama 5 detik. Tingkat penetrasi diukur dan direpresentasikan sebagai nilai numerik dikalikan dengan 0,1 mm. Nilai penetrasi yang semakin tinggi menunjukkan elastisitas aspal yang semakin besar sehingga mengakibatkan peningkatan ketahanan terhadap kelelahan pada perkerasan jalan. Hasil pemeriksaan ini selanjutnya dapat digunakan untuk mengatur kualitas aspal atau untuk keperluan pembangunan, peningkatan, atau pemeliharaan jalan. Hasil uji penetrasi ini sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti berat beban keseluruhan, ukuran sudut, kehalusan permukaan jarum, suhu, dan durasi..

2. Titik lembek

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui suhu spesifik saat aspal mengalami pelunakan yang bervariasi antara 30°C hingga 200°C. Temperatur pelunakan aspal berbeda-beda antar produk pembuatan aspal yang berbeda, walaupun memiliki nilai penetrasi yang sama. Titik lunak mengacu pada suhu di mana bola baja dengan berat tertentu, yang terkandung dalam cincin berukuran tertentu, memberikan tekanan pada lapisan aspal. Hal ini menyebabkan aspal bersentuhan dengan pelat dasar yang terletak di bawah ring, dan terjadi pada ketinggian tertentu karena laju pemanasan yang telah ditentukan. Hasil titik

lembek digunakan untuk mengetahui suhu yang tepat pada saat aspal mengalami proses peleburan. Aspal dengan titik lembek yang tinggi kurang rentan terhadap fluktuasi suhu, dan terutama berfungsi sebagai pengikat perkerasan jalan.

3. Daktilitas

Tujuan percobaan ini adalah untuk mengetahui sifat kohesif aspal dengan mengukur jarak maksimum yang dapat diregangkan antara dua cetakan berisi aspal padat sebelum patah, pada kondisi suhu dan kecepatan tarik tertentu. Kohesi mengacu pada sifat perekat partikel aspal, yang memungkinkan mereka untuk terikat bersama. Memahami kualitas kohesi campuran aspal sangat penting karena hal ini berdampak signifikan terhadap kinerja dan daya tahan campuran. Aspal dengan tingkat keuletan yang rendah menunjukkan kekompakan yang lebih rendah dibandingkan dengan aspal dengan tingkat keuletan yang tinggi. Peningkatan keuletan menandakan kemampuan aspal untuk mengikat butiran agregat secara efektif untuk perkerasan jalan.

4. Berat Jenis

Tujuan dari percobaan ini adalah untuk memastikan kepadatan aspal padat secara tepat dengan menggunakan piknometer. Berat jenis aspal ditentukan dengan membandingkan beratnya dengan berat cairan sulingan dengan volume yang sama pada suhu 25°C. Perhitungan analisis campuran pada mesin press memerlukan penggunaan berat jenis. 2.14.

$$\text{Berat jenis} = \frac{(C-A)}{(B-A)-(D-C)} \quad (2.14)$$

A : Berat piknometer, dengan gram

B : Berat piknometer berisi air, dalam gram

C : Berat piknometer berisi aspal, dalam gram

D : berat piknometer berisi air dan aspal, dalam gram

data temperatur dan berat jenis aspal diperlukan dalam penentuan faktor koreksi volume berdasarkan SNI 06-2441-2011 pada Pers. 2.15.

$$V = V_t \times F_k \quad (2.15)$$

Dimana:

V : Volume aspal pada temperatur 150°C

V_t : Volume aspal pada temperatur tertentu

F_k : Faktor Koreksi

5. Titik Nyala Dan Titik Bakar

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan titik nyala dan titik bakar semua produk minyak bumi, kecuali bahan bakar minyak dan bahan lain yang titik nyala open cup di bawah 70°C. Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap aspal. Secara khusus, pengujian ini akan menguji efek nyala api pertama pada titik nyala dan nyala api yang berkelanjutan selama minimal 5 detik pada titik terbakar. Titik nyala yang rendah menunjukkan adanya minyak ringan di aspal. Semakin tinggi titik nyala dan titik bakar menunjukkan ketahanan aspal yang lebih besar terhadap suhu tinggi.

6. Kelekatan Aspal Pada Agregat

Tujuan dari percobaan ini adalah untuk menilai sifat perekat aspal terhadap jenis batuan tertentu ketika terendam air. Uji daya rekat aspal terhadap agregat merupakan suatu metode kuantitatif yang digunakan untuk mengukur derajat daya rekat antara aspal dengan agregat. Adhesi mengacu pada kemampuan aspal untuk menempel dan menyatu dengan agregat. Temuan uji kelekatan diamati secara visual.

2.2.12. Laston AC

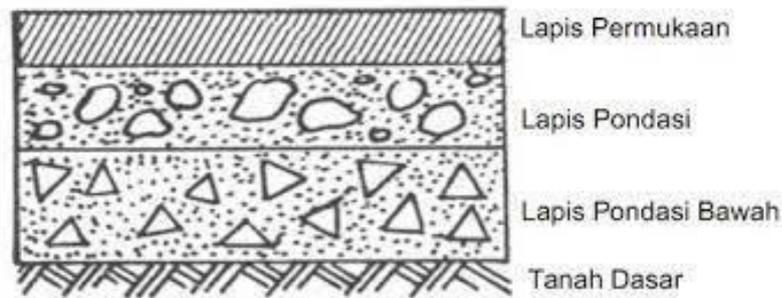
Lapisan beton aspal merupakan komponen konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal tahan lama dan agregat. Campuran ini dipanaskan, disebar, dan dipadatkan pada suhu tertentu (Sukirman, 1992).

Salah satu fitur penting dari beton aspal adalah adanya minimal rongga dalam struktur agregat, sehingga menghasilkan efek interlocking yang kuat. Hasilnya, beton aspal menunjukkan stabilitas yang sangat baik dan relatif kaku. (Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, 2010).

Sesuai fungsinya Laston (AC) mempunyai 3 macam campuran yaitu:

1. Laston sebagai lapisan aus, dikenala dengan nama AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*), dengan tebal nominal minimum adalah 4 cm.
2. Laston sebagai lapisan antara, dikenal dengan nama AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*), dengan tebal nominal minimum adalah 6 cm.
3. Laston sebagai lapisan pondasi, dikenal dengan nama AC-Base (*Asphalt*

Concrete-Base), dengan tebal nominal minimum adalah 7,5 cm.



Gambar 2. 3 Lapisan aspal beton

(Sumber: Darlan 2014).

Lapisan aspal beton (AC) digunakan pada jalan raya yang mengalami beban lalu lintas yang signifikan. Gradasi kontinu menunjukkan jumlah rongga yang lebih sedikit pada struktur agregat jika dibandingkan dengan gradasi celah. Campuran AC sangat rentan terhadap fluktuasi proporsi campuran.

2.2.13 Bahan Tambah

Bahan aditif merupakan zat yang dimasukkan ke dalam campuran aspal dengan tujuan untuk meningkatkan karakteristik aspal minyak. Penyebab utama terjadinya kerusakan dan pelemahan pada perkerasan lentur jalan raya adalah kurangnya kekuatan dan daya tahan lapisan aus dan bahan pengikat yang digunakan dalam pembangunan perkerasan jalan. Proses mekanis dalam campuran seringkali menunjukkan daya tahan yang tinggi, memastikan bahwa lapisan keras tetap tahan lama sepanjang umur desain dan layanan bangunan. Karena penggunaan material lokal tidak dapat dihindari, perubahan diperlukan untuk menjamin ketahanan adhesi.

Salah satu komponen tambahan pada campuran Laston AC-BC adalah bahan plastik HDPE yang khusus bersumber dari bahan kemasan dan botol sampo plastik daur ulang. Plastik ini diparut dan dilarutkan menjadi butiran plastik kecil. Aditif yang berasal dari botol sampo plastik daur ulang ini dapat digunakan dengan aspal untuk membuat campuran aspal yang dimodifikasi dari plastik. Bahan tambahan plastik meningkatkan karakteristik aspal sehingga lebih tangguh dan tahan terhadap retak. Campuran ini dapat dimanfaatkan dalam pembuatan trotoar dan jalan raya.

Pemanfaatan limbah plastik *HDPE* sebagai bahan tambah dalam campuran lapisan AC-BC guna meningkatkan nilai stabilitasnya yang lebih besar dari aspal

konvensional.

2.3. Pengujian Marshall (Karakteristik Sifat-Sifat Marshall)

Teknik Marshall yang menggabungkan kombinasi beberapa elemen dikembangkan oleh Bruce Marshall dan kemudian distandarisasi oleh ASTM (American Standard Testing and Material) atau AASHTO. Standardisasi ini melibatkan berbagai revisi, khususnya ASTM D 1559-76 atau AASHTO T-245-90. Premis mendasar yang mendasari teknik Marshall adalah untuk menilai stabilitas dan karakteristik aliran, serta mempelajari kepadatan dan porositas campuran padat yang dihasilkan. Alat Marshall merupakan alat press hidrolik menggunakan proving ring (cincin pengujian) kapasitas 22,2 KN (5000 lbs) dan flowmeter. Proving ring digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan flowmeter untuk mengukur kelelahan plastis atau flow. Benda uji Marshall berbentuk silinder dengan diameter 4 inci (10,2 cm) dan tinggi 2,5 inci (6,35 cm).

Teknik pengujian Marshall mengikuti standar SNI 06-2489-1991, AASHTO T 245-90, dan ASTM D 1559-76. Uji Marshall biasanya melibatkan banyak langkah: menyiapkan benda uji, mengukur berat jenis curahnya, mengevaluasi stabilitas dan karakteristik alirannya, dan menghitung sifat volumetriknya. Beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam mempersiapkan benda uji, seperti:

1. Banyaknya benda uji yang telah disiapkan.
2. Mempersiapkan agregat yang akan dipakai.
3. Menentukan suhu pencampuran dan pemadatan.
4. Mempersiapkan campuran aspal beton.
5. Pemadatan benda uji.
6. Persiapan uji Marshall.

Karakteristik sifat-sifat Marshall sebagai berikut:

a. Kelelahan (*flow*)

Nilai *flow* = (r) didapat dari pembacaan arloji *flow* yang menyatakan deformasi benda uji dalam satuan 0,01 mm. sarat untuk kelelahan yaitu 2 sampai 4 mm.

b. Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan untuk beban lalu lintas

tanpa mengalami deformasi (perubahan bentuk permanen), seperti gelombang, bekas roda dan aspal yang naik ke permukaan.

Dari pembacaan arloji stabilitas dengan alat tekan Marshall didapatkan nilai stabilitas dari benda uji. Angka ini dikoreksi dengan nomor kalibrasi alat dan angka koreksi untuk ketebalan benda uji. Berdasarkan Bina Marga 2018 syarat untuk pengujian stabilitas yaitu minimal 800 kg.

Nilai stabilitas (*stability*) dapat dihitung dengan persamaan 2-16 sebagai berikut:

$$S = p \times r \quad (2-16)$$

Keterangan:

P: Kalibrasi proving ring

R: Nilai pembacaan arloji stabilitas

Faktor koreksi ketebalan lapisan aspal beton adalah 1,00 (Pd T-05-2005-B). Oleh karena itu, untuk menetapkan faktor koreksi pada lapisan aspal beton (laston), yang diperhitungkan hanyalah angka koreksi yang berkisar antara 0,83 hingga 1,00. Faktor koreksi dapat diperoleh dari ketebalan benda uji seperti ditunjukkan pada Tabel 2.6:

Tabel 2. 6 Rasio koreksi stabilitas pada laston

| Tebal Benda Uji (Mm) | Angka Koreksi |
|----------------------|---------------|
| 63,5 | 1,00 |
| 65,1 | 0,96 |
| 66,7 | 0,93 |
| 68,3 | 0,89 |
| 69,9 | 0,86 |
| 71,4 | 0,83 |
| 73,0 | 0,81 |
| 74,6 | 0,78 |
| 76,2 | 0,76 |

(Sumber: Kementerian Pekerjann Umum dan Perumahan Rakyat 2018)

c. Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient (MQ) adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan nilai aliran. Bila nilai Marshall Quotient (MQ) semakin tinggi, maka sifat

campurannya semakin kaku, begitu pula nilai Marshall Quotient (MQ) semakin rendah, maka sifat campuran yang dihasilkan akan lentur.

Nilai Marshall *Quotient* dapat dihitung menggunakan persamaan 2-17 sebagai berikut :

$$MQ = \frac{s}{t} \quad (2-17)$$

Keterangan :

S : Nilai *stabilitas* terpasang (kg)

t : Nilai kelelahan *flow* (mm)

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

d. Kepadatan (*density*)

Density adalah Kepadatan campuran aspal yang dipadatkan. Massa jenis suatu campuran meningkat seiring dengan meningkatnya nilai massa jenis. Berbagai faktor dapat mempengaruhi nilai kepadatan, termasuk komposisi dan kualitas bahan, distribusi campuran, tingkat pemadatan, suhu terjadinya pemadatan, dan jumlah aspal yang ada.

Nilai kepadatan (*density*) dapat dihitung melalui persamaan 2-18 dan persamaan 2-19 sebagai berikut:

$$h = g - f \quad (2-18)$$

$$I = \frac{h}{e} \quad (2-19)$$

Keterangan :

e : Berat benda uji sebelum direndam (gram)

f : Berat benda uji jenuh air (gram)

g : Berat benda uji dalam air (gram)

h : Isi benda uji (ml)

i : Berat isi benda uji (gram/ml)

e. *Void In the Mix* (VIM)

VIM merupakan hasil persentase rongga udara dalam campuran, Berdasarkan Bina Marga 2018 syarat untuk pengujian VIM yaitu 3% sampai 5%. Nilai VIM dapat dihitung menggunakan persamaan 2-20 sebagai berikut:

$$VIM = 100 - i \times j \quad (2-20)$$

Keterangan : i : Bj benda uji

J : Bj campuran maksimal

f. *Void Filled Asphalt (V*

VFA adalah persentase rongga yang terisi aspal efektif, Berdasarkan Bina Marga 2018 syarat untuk pengujian VFA yaitu minimal 65%.

Nilai VFA dapat dihitung dengan persamaan 2-21 sebagai berikut :

$$VFB = 100 \times \frac{VMA - VIM}{VMA} \quad (2-21)$$

Keterangan : FVA = Rongga terisi aspal persen terhadap VMA

VMA : Rongga diantara mineral agregat

VIM : Rongga di dalam campuran

g. *Void Mineral Agregat (VMA)*

VMA merupakan Rongga udara merupakan ruang kosong diantara butiran agregat pada campuran aspal padat. Rongga ini mencakup rongga udara dan kandungan aspal efektif, yang mengacu pada persentase volume rongga yang terisi aspal. Ini direpresentasikan sebagai persentase dari keseluruhan volume. Menurut Bina Marga 2018, pengujian VMA memerlukan minimal 15%.

VMA adalah persentase kandungan mineral dalam sampel yang dapat dihitung menggunakan persamaan 2-22 sebagai berikut :

$$VMA = 100 - l \quad (2.22)$$

Keterangan :

l : persentase volume agregat

Beberapa kriteria *uji Marshall* diatas dapat diperoleh kadar aspal Hoptimum (KAO), apabila suatu campuran memenuhi standar Bina Marga maka kadar aspal optimum dapat ditentukan. Persyaratan campuran lapis aspal beton (laston) AC pada spesifikasi Bina marga.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Dan Metode Penelitian

penelitian seperti pembuatan benda uji, perawatan dan pengujian benda uji dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram. Penelitian yang akan diuji pada campuran Aspal Panas adalah Marshall test dengan variasi bahan tambah *High Density Polyethylene (HDPE)* 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% yang berupa plastik botol shampo . Semua bahan yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada spesifikasi umum yang dikeluarkan oleh Bina Marga (2018) Devisi I. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3. 1 Lokasi pengambilan sampel
(Sumber: google earth 2023).

3.2. Teknik Pengumpulan Data

1) Data primer

Data primer dalam penelitian ini adalah data penelitian hasil uji yang meliputi volumetrik benda uji, hasil uji Marshall, mencari kadar aspal optimum dan hasil uji Marshall kadar aspal efektif.

2) Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diambil dari hasil penelitian sebelumnya atau yang dilaksanakan dan masih berhubungan dengan tersebut. Data sekunder dalam penelitian ini adalah data pemeriksaan agregat yang diperoleh dari Laboratorium Pengujian PT Sinar Bali Binakarya dan data

hasil pemeriksaan karakteristik aspal dari Laboratorium Pengujian Material PT Sinar Bali Binakarya, Peralatan Penelitian.

Peralatan yang akan di gunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Alat pemeriksaan agregat, yang terdiri dari:
 - a. Satu set alat uji saringan standar ASTM



Gambar 3. 2 Satu Set Alat Uji Saringan AS
(Sumber :Laboratorium teknik UMMAT).

- b. Satu set alat pengujian volumetrik



Gambar 3. 3 Alat penguji Volumetrik
(Sumber :Laboratorium teknik UMMAT).

2. Oven dan pengatur suhu



Gambar 3. 4 Oven atau pemanas agregat
(Sumber :Laboratorium teknik UMMAT).

3. Timbangan digital



Gambar 3. 5 Timbangan digital
(Sumber :Laboratorium teknik UMMAT).

4. Alat pengukur suhu



Gambar 3. 6 Termometer

(Sumber :Laboratorium teknik UMMAT).

Alat pembuat briket campuran aspal hangat sebagai berikut:

- a. Satu set cetakan (mold) berbentuk silinder dengan diameter 101,45 mm,



Gambar 3. 7 satu set cetakan (mould)
(Sumber :Laboratorium teknik UMMAT).

- b. Alat penumbuk



Gambar 3. 8 Alat penumbuk
(Sumber :Laboratorium teknik UMMAT).

- c. Satu set alat pengangkat briket (dongkrak hidrolis)



Gambar 3. 9 Dongkrak Hidraulis
(Sumber :Laboratorium teknik UMMAT).

6. satu set water bath



Gambar 3. 10 Water Bath
(Sumber :Laboratorium teknik UMMAT).

7. Satu set alat Marshall, terdiri dari:

- a) Kepala penekan yang berbentuk lengkung (Breaking Head), dengan jari – jari bagian dalam 50,8 mm (2 in)
- b) Dongkrak pembebanan (loading jack) yang digerakkan secara elektrik dengan kecepatan pergerakan vertikal 50,8 mm/menit.
- c) Cincin penguji (proving ring) berkapasitas 2500 kg dan atau 5000 kg dilengkapi dengan arloji (dial) tekan dengan ketelitian 0,0025 (0,001 in).
- d) Arloji pengukur alir (flow) dengan ketelitian 0,25 mm besertapelengkapannya.
- e) Fungsi dari alat marshall untuk mengetahui nilai stabilitas dankelelehan (flow), serta analisa kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk.



Gambar 3. 11 satu set alat Marshall
(Sumber :Laboratorium teknik UMMAT).

8. alat penunjang

a. Panci



Gambar 3. 12 Panci
(Sumber :Laboratorium teknik UMMAT).

b. Wajan



Gambar 3. 13 Wajan
(Sumber :Laboratorium teknik UMMAT).

c. Sarung tangan



Gambar 3. 14 Sarung Tangan
(Sumber :Laboratorium teknik UMMAT).

3.3. Bahan penelitian

1. Agregat kasar dan halus
2. Aspal penetrasi 60-70
3. Filler atau material lolos saringan no. 200 dan semen yang digunakan yaitu sement Portland
4. (HDPE), yaitu plastik yang terbuat dari minyak bumi. HDPE memiliki karakteristik sedikit buram dan transparan serta elastik. Plastik ini tidak tembus air, tidak berbau, tahan panas dan tahan benturan. Plastik *HDPE* jika dilihat secara kasat mata, plastik *HDPE* memiliki warna yang kuat serta pekat dan biasa digunakan untuk tempat sabun, botol minum, wadah kosmetik, botol oli, botol shampo dan barang berbahan plastik lainnya.

3.4. Benda Uji

penambahan plastik botol shampo 0%, penambahan plastik botol shampo 2%, penambahan plastik botol shampo 4%, penambahan plastik botol shampo 6%, dan plastik botol shampo 8%.

Benda uji yang dilakukan dengan menambahkan plastik botol shampo yang kemudian ditimbang sesuai kebutuhan variasi plastik yang telah ditetapkan dan di campurkan saat pengadukan agregat dan aspal panas. Penelitian ini menggunakan benda uji sebanyak 15buah benda uji dengan penambahan.

Tabel 3. 1 Jumlah benda uji

| No | Variasi penambahan plastik botol shampo | Jumlah benda uji |
|----|---|------------------|
| 1 | 0% | 3 |
| 2 | 2% | 3 |
| 3 | 4% | 3 |
| 4 | 6% | 3 |
| 5 | 8% | 3 |
| 6 | Jumlah Benda Uji | 15 |

3.5. Prosedur Pelaksanaan

3.5.1. Tahap Persiapan

Tahap ini merupakan tahap penentuan arah penelitian, pada tahapan ini semua alat dan bahan yang diperlukan disiapkan terlebih dahulu. Jangan sampai ada alat dan bahan yang tidak disediakan, karena akan berpengaruh pada saat melakukan penelitian. Usahakan alat dan bahan tersebut telah disiapkan sejak awal secara maksimal.

3.5.2. Pembuatan Benda Uji

Sebelum pembuatan benda uji diadakan pembuatan rancang campur (*mix design*). Perencanaan rancang campur meliputi perencanaan gradasi agregat, penentuan sepal dan pengukuran komposisi masing-masing plastik baik agregat, aspal, dan filler. Gradasi yang digunakan sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI). Dengan menggunakan gradasi rencana campuran Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

Prosedur pembuatan benda uji dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu :

1. Menghitung perkiraan awal kadar aspal (Pb), setelah didapat nilai kadar aspal, selanjutnya berat jenis maksimum (BJ Max) dihitung dengan mengambil data dari percobaan berat jenis agregat halus dan agregat kasar.
2. Menentukan berat aspal penetrasi 60/70, berat *filler* dan berat agregat yang akan dicampur berdasarkan variasi kadar aspal. Persentase ditentukan berdasarkan berat total campuran, yaitu 1200 gram. Kadar aspal ditentukan dengan perhitungan komposisi agregat campuran.

3. Panaskan agregat pada temperatur 28°C setelah itu panaskan aspal sampai mencapai kekentalan (*viskositas*) yang disyaratkan untuk pekerjaan pencampuran dan pemadatan seperti diperlihatkan pada tabel 3.3 berikut:

Tabel 3. 2 Kekentalan aspal keras untuk pencampuran dan pemadatan

| Alat uji | Kekentalan untuk | | satuan |
|-------------------------------|------------------|-----------|-------------------|
| | pencampuran | Pemadatan | |
| Viscosimeter Kinematik | 170 ± 20 | 280 ± 30 | m ² /s |
| Viscosimeter Saybolt Furol | 85 ± 10 | 140 ± 15 | Centistokes |

(Sumber: Hasil Pengujian Di Laboratorium Pt Sinar Bali Binakarya)

4. pencampuran benda uji
 - a. Untuk setiap benda uji diperlukan agregat sebanyak ± 1200 gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira 63,5 mm ± 1,27 mm
 - b. Panaskan wadah pencampur kira-kira 28°C di atas temperatur pencampuran aspal keras
 - c. Masukkan agregat yang telah dipanaskan ke dalam wadah pencampur
 - d. Tuangkan aspal yang sudah mencapai tingkat kekentalan seperti pada Tabel 3. 3 sebanyak yang dibutuhkan ke dalam agregat yang sudah dipanaskan, kemudian aduk dengan cepat sampai agregattercampur aspal secara merata.
5. Pemadatan benda uji
 - a. Setelah aspal dituangkan ke dalam agregat, campuran ini diaduk sampai rata dan kemudian didiamkan hingga mencapai suhu pemadatan 120° C - 140° C.
 - b. Letakkan kertas saring atau kertas penghisap dengan ukuran sesuai ukuran dasar cetakan
 - c. Masukkan seluruh campuran ke dalam cetakan dan tusuk-tusuk campuran dengan spatula yang telah dipanaskan sebanyak 15 kali di sekeliling pinggirannya dan 10 kali di bagian tengahnya

- d. Letakkan kertas saring atau kertas penghisap di atas permukaan benda uji dengan ukuran sesuai cetakan
 - e. Padatkan campuran dengan temperatur yang disesuaikan dengan kekentalan aspal yang digunakan, setelah itu lakukan penumbukan sebanyak 75 kali di kedua sisi.
 - f. Sesudah dilakukan pemadatan campuran, lepaskan pelat alas dan pasang alat pengeluar pada permukaan ujung benda uji,
 - g. Keluarkan dan letakkan benda uji di atas permukaan yang rata dan diberi tanda pengenal serta biarkan selama kira-kira 24 jam pada temperatur ruang.
6. Persiapan pengujian
- a. Bersihkan benda uji dari kotoran yang menempel
 - b. Ukur tinggi benda uji dengan ketelitian
 - c. Timbang benda uji (berat udara)
 - d. Rendam benda uji dalam air selama kira-kira 24 jam pada temperatur ruang
 - e. Timbang benda uji di dalam air untuk mendapatkan isi dari benda uji.
 - f. Timbang benda uji dalam kondisi kering permukaan jenuh.

3.6. Marshall Test

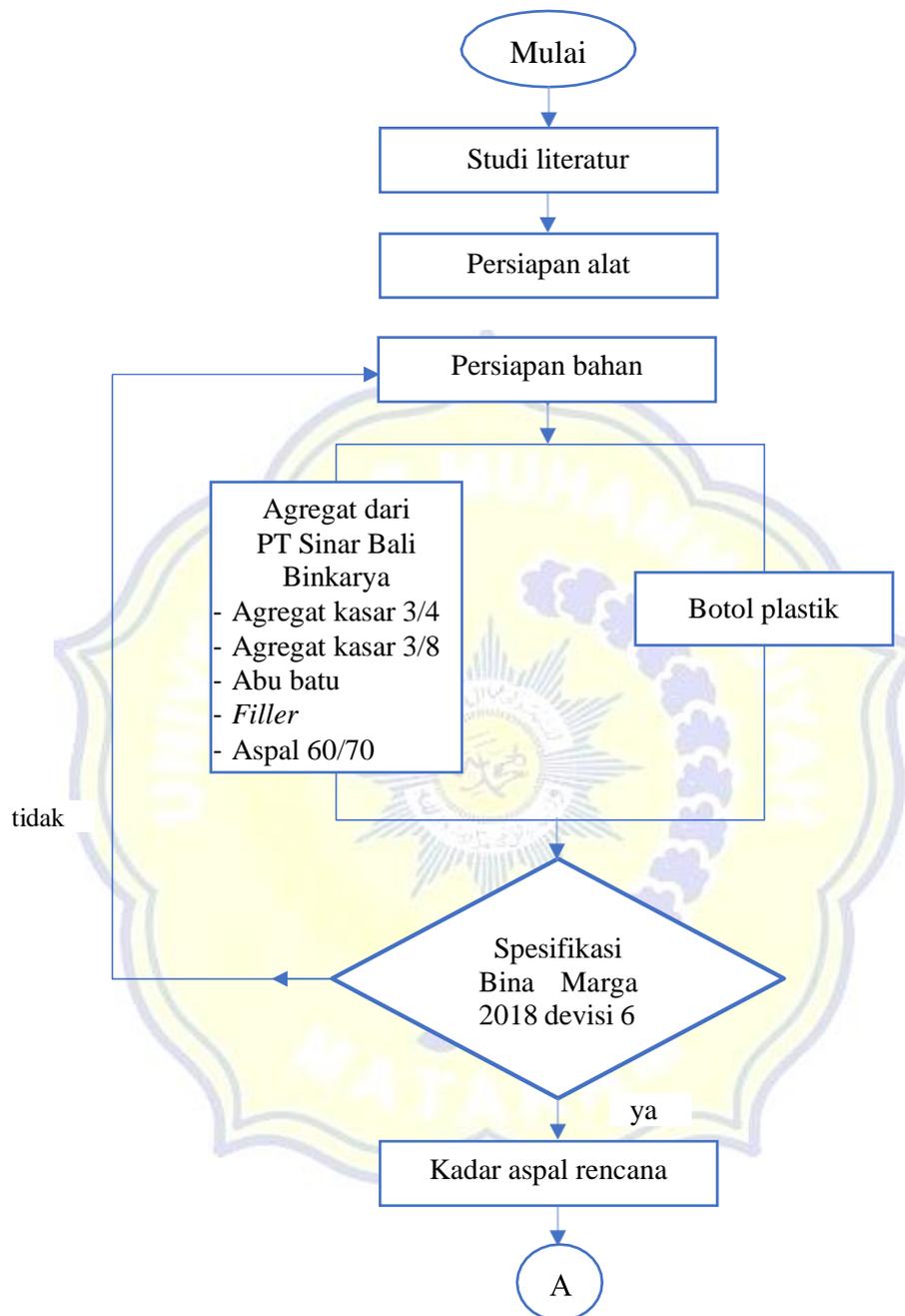
Pengujian Marshall adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui nilai ketahanan (*stability*) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari suatu campuran aspal. Semakin tinggi nilai stabilitas pada campuran maka nilai flow juga akan tinggi. Dengan nilai stabilitas yang tinggi dapat disimpulkan bahwa aspal mampu menahan beban.

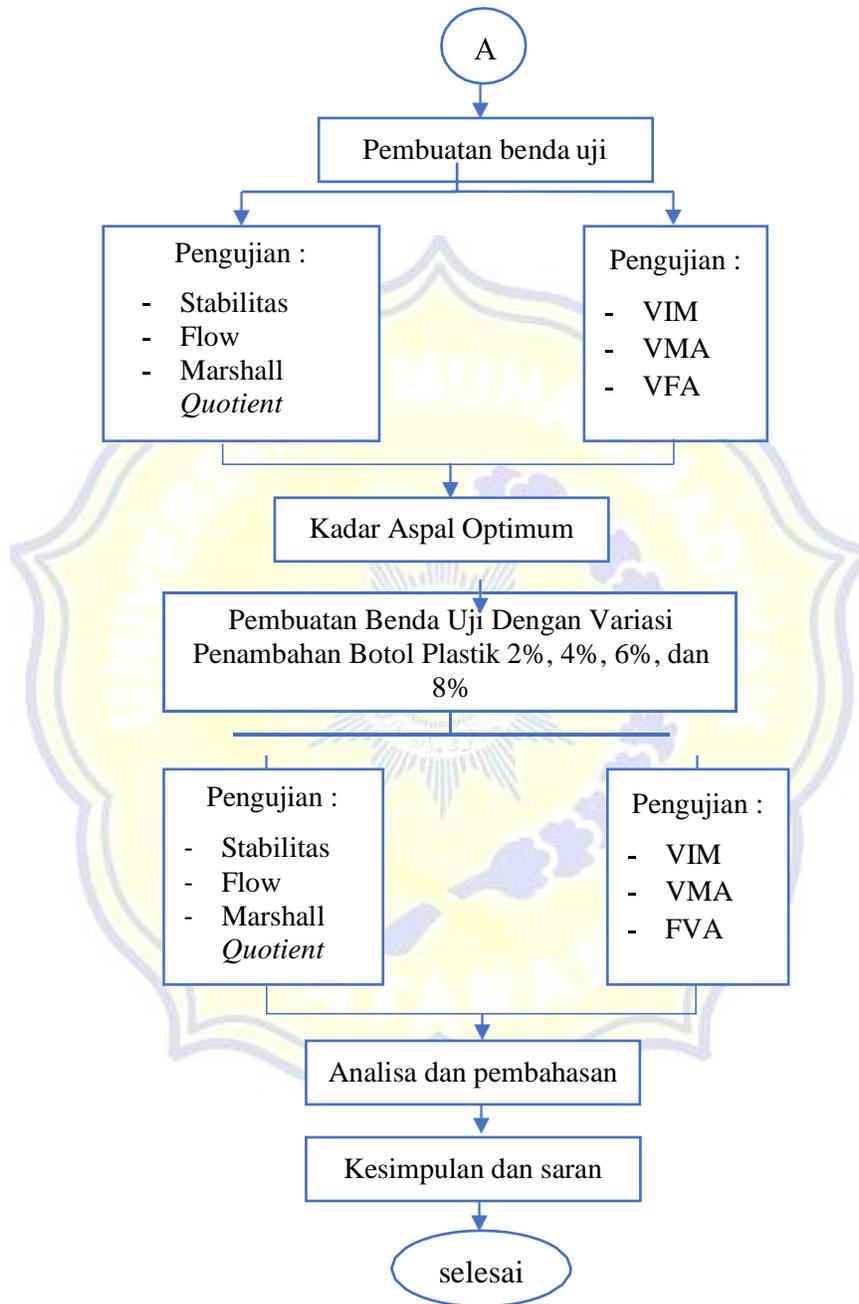
1. Benda uji direndam dalam *Water Bath* (bak perendam) selama 30 – 40 menit dengan suhu 60 °C. Benda uji dibuat sebanyak 3 buah pada masing – masing variasi botol plastik dan total benda uji adalah 15 benda uji.
2. Keluarkan benda uji dari *Water Bath* dan letakkan dalam bagian bawah alat penekan uji Marshall.

3. Pasang bagian atas alat penekan uji Marshall di atas benda uji dan letakkan seluruhnya dalam mesin uji Marshall
4. Pasang arloji pengukur pelelehan pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (sleve) dipegang teguh pada bagian atas kepala penekan
5. Catat nilai pelelehan yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur pelelehan pada saat pembebanan maksimum tercapai.
6. Dari hasil pengujian ini didapat nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*)
7. Perhitungan nilai stabilitas dan Marshall *quotient* didapatkan dengan rumus 2.15



3.7. Tahapan Penelitian





Gambar 3. 15 Tahapan Alur Penelitian