

TUGAS AKHIR

**STUDI ANALISIS KINERJA CAMPURAN BERASPAL
MENGUNAKAN LIMBAH GELAS AIR MINERAL**

***ANALYSIS STUDY OF THE PERFORMANCE OF ASPHALT
MIXTURES USING MINERAL WATER CUP WASTE***

**MUHAMMAD BASYRAH SYAMSIR
D011 17 1024**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2021**

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**STUDI ANALISIS KINERJA CAMPURAN BERASPAL MENGGUNAKAN LIMBAH
GELAS AIR MINERAL**

Disusun dan diajukan oleh:

MUHAMMAD BASYRAH SYAMSIR

D011 17 1024

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 21 Oktober 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT.
NIP. 197309262000121002



Dr. Eng. Muralia Hustim, ST., MT.
NIP. 197204242000122001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Whardi Tjaronge, ST, M.Eng
Nip. 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Muhammad Basyrah Syamsir, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Studi Analisis Kinerja Campuran Beraspal Menggunakan Limbah Gelas Air Mineral**", adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala risiko.

Gowa, Oktober 2021

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Basyrah Syamsir

NIM: D011 17 1024

KATA PENGANTAR

Bismillaahirrohmaanirrohiim, Alhamdulillahirobbil 'aalamiin, segala puji bagi Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini, sebagai salah satu syarat penyelesaian studi untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam tugas akhir ini dikarenakan keterbatasan ilmu dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, dengan segala keterbukaan penulis mengharapkan masukan dari semua pihak.

Ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya penulis tujukan kepada kedua orangtua tercinta, Ibu Suria dan Bapak Syamsir yang selalu memberikan dukungan moral dan material serta doa kepada penulis hingga saat ini. Semoga penulis dapat membahagiakan ibu dan bapak dan bisa menjadi apa yang diharapkan agar menjadi manusia yang berguna dunia dan akhirat.

Melalui kesempatan ini pula, dengan segala kerendahan hati, ucapan terima kasih, penghormatan serta penghargaan yang setinggi-tingginya penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu, yaitu kepada:

1. Kedua orang tua kami tercinta, Ibu **Suria** dan Bapak **Syamsir** yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materil yang tak terhitung jumlahnya sampai saat ini.

2. Bapak **Prof. Dr.Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.**, selaku Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan selaku Dosen Pembimbing I, serta Ibu **Dr.Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T.**, selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan arahan dari awal penelitian hingga selesainya penulisan Tugas Akhir ini.
3. Bapak **Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak **Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.**, selaku Kepala Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak **Dr. Eng. Andi Arwin Amiruddin, S.T., M.T.** selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
6. Ibu **Ir. Hajriyanti Yatmar, S.T., M.Eng.** yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan
7. Seluruh Dosen yang telah membantu penulis selama mengikuti Pendidikan di Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. Seluruh staf dan karyawan di Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

9. Kepada Syakur yang bersama-sama dalam pengujian dan penyusunan laporan penelitian ini
10. Kepada rekan-rekan Asisten Laboratorium Sistem Rekayasa Transportasi, Wahyu, Agung, Nabil, Fahad, Inung, Mifta dan adik-adik angkatan 2018 sebagai partner yang telah banyak membantu selama proses penelitian berlangsung dan Kak Abi serta Kak Alsya yang telah memberikan saran yang membangun untuk keperluan penelitian ini.
11. Teman-teman Mawang Apartemen, Wahyu, Arung, Irfan, Naen, dan Alwan yang telah berjuang bersama saat Dedikasi 2019
12. Teman-teman KKD Transportasi 2017 yang telah membantu dalam proses penelitian.
13. Teman-teman PLASTIS 2018 yang telah banyak membantu dalam proses penelitian.

Penulis menyadari bahwa masih banyak terdapat kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata, semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan Rahmat-Nya kepada kita, dan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang berkepentingan.

Gowa, September 2021

Penulis

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik campuran aspal dengan penambahan limbah gelas air mineral dan menganalisis kinerja campuran aspal dengan penambahan limbah gelas air mineral. Metode Penelitian yang dilakukan adalah uji eksperimental, dimana kondisi diatur oleh peneliti dan mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, SNI, ASTM, dan literatur yang berkaitan. Penelitian ini menggunakan dua variabel dalam menganalisis karakteristik campuran beton aspal dengan uji *Marshall*, yaitu kadar guntingan plastik sebesar 0%, 1% dan 2% dari berat total agregat, dan durasi perendaman yaitu 0.5 jam, 24 jam dan 7 hari. Penambahan limbah gelas air mineral pada campuran Lapis Tipis Beton Aspal B Kasar (LTBA-B Kasar) meningkatkan karakteristik campuran khususnya stabilitas sehingga dapat meningkatkan kekuatan campuran dalam menerima beban; VIM VMA Stabilitas dan cenderung naik sementara VFB dan *Flow Marshall Quotient* cenderung turun. Durasi perendaman mempengaruhi karakteristik fisik campuran yaitu *Marshall Quotient* yang mengalami penurunan; stabilitas yang menurun; dan flow yang meningkat. Sementara VIM VMA dan VFB tidak mengalami penurunan yang signifikan. Durabilitas campuran LTBA-B Kasar dengan kadar plastik 1% menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan durabilitas campuran LTBA-B Kasar dengan kadar plastik 0% dan 2%. Dengan demikian campuran dengan kadar plastik 1 % lebih baik dalam menahan pengaruh perendaman dibandingkan dengan variasi yang lain.

Kata Kunci: Lapis Tipis Beton Aspal (LTBA), Limbah, Gelas Air Mineral, *Marshall test*

ABSTRAK

This study aims to analyze the characteristics of the asphalt mixture with the addition of mineral water glass waste and analyze the performance of the asphalt mixture with the addition of mineral water glass waste. The research method carried out is an experimental test, where the conditions are regulated by the researcher and refer to the Bina Marga 2018 Specification Revision 2, SNI, ASTM, and related literature. This study uses two variables in analyzing the characteristics of the asphalt concrete mixture with the Marshall test, namely the plastic shear content of 0%, 1% and 2% of the total weight of the aggregate, and the duration of immersion is 0.5 hours, 24 hours. The addition of mineral water glass waste to the mixture of Lapis Tipis Beton Aspal B Kasar (LTBA-B Kasar) increases the characteristics of the mixture, especially stability so that it can increase the strength of the mixture in accepting loads; VIM VMA Stability and tends to go up while VFB and Flow Marshall Quotient tend to go down. The duration of immersion affects the physical characteristics of the mixture, namely the Marshall Quotient which has decreased; decreased stability; and increased flow. Meanwhile, VIM VMA and VFB did not experience a significant decrease. The durability of Lapis Tipis Beton Aspal B Kasar (LTBA-B Kasar) with 1% plastic content showed better results compared to the durability of Lapis Tipis Beton Aspal B Kasar (LTBA-B Kasar) with 0% and 2% plastic content. Thus the mixture with a plastic content of 1% is better at resisting the effects of immersion compared to other variations.

Keywords: Lapis Tipis Beton Aspal (LTBA), Waste, Mineral Water Cup, Marshall test

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian.....	3
D. Manfaat Penelitian.....	3
E. Batasan Masalah.....	4
F. Sistematika Penulisan	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. Perkerasan Jalan Lentur (<i>Flexible Pavement</i>).....	7
B. Campuran Beton Aspal	8
C. Komponen Beton Aspal.....	21
D. Lapis Tipis Beton Aspal (LTBA).....	28
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	35
A. Lokasi Penelitian dan Waktu Penelitan	35

B. Bagan Alir Penelitian	36
C. Jenis Penelitian dan Sumber Data	38
D. Prosedur Penelitian	40
E. Analisa Rancangan Campuran.....	45
F. Pembuatan Benda Uji Pada Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) 46	
G. Pengujian Marshall untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum	48
H. Pengujian Marshall Perendaman 0.5 Jam dan 24 Jam Untuk Benda Uji Yang Ditambah Plastik 0%, 1% dan 2%	51
I. Analisis Data	52
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	54
A. Pengujian Karakteristik Material	54
B. Rancangan Campuran	56
C. Campuran dengan Bahan Tambah Plastik.....	64
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	75
A. Kesimpulan.....	76
B. Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA.....	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Pengertian tentang VIM, selimut aspal, aspal yang telah terabsorpsi	13
Gambar 2.2 Bentuk Struktur Propilena	26
Gambar 3.1. Lokasi Penelitian.....	35
Gambar 3.3. Bagan Alir Penelitian.....	37
Gambar 3.4. Guntingan limbah gelas air mineral	40
Gambar 3.5. Diagram Alir Prosedur Penelitian	41
Gambar 4.1. Gradasi Agregat Gabungan	58
Gambar 4.2. Grafik Parameter Marshall	63
Gambar 4.3. Penentuan Nilai KAO	64
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Parameter Marshall, Kadar Plastik dan Lama Perendaman	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Metode Pengujian dan Spesifikasi Pemeriksaan Karakteristik Agregat.....	20
Tabel 2.2. Jenis-jenis plastik yang termasuk kategori termoplastik	25
Tabel 2.3. Penentuan kadar aspal optimum metode bar-chart	32
Tabel 3.1. Metode pengujian dan spesifikasi pengujian aspal (Bina Marga, 2018).....	43
Tabel 3.2. Metode pengujian dan spesifikasi pengujian agregat kasar (Bina Marga, 2018)	44
Tabel 3.3. Metode pengujian dan spesifikasi pengujian agregat halus..... (Bina Marga, 2018)	45
Tabel 3.4. Gradasi Agregat untuk Campuran Lapis Tipis Beton Aspal (Bina Marga, 2018)	46
Tabel 3.5. Ketentuan sifat sifat campuran lapis tipis beton aspal (LTBA)	53
Tabel 4.1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat.....	54
Tabel 4.2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal	55
Tabel 4.3. Gradasi Agregat Gabungan	57
Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Berat Jenis Campuran dan Penyerapan Aspal Agregat	59
Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Kadar Aspal Rencana (Pb)	59
Tabel 4.6. Berat Masing Masing Fraksi Agregat	60
Tabel 4.7. Berat Aspal dan Agregat pada Campuran LTBA-B Kasar	61

Tabel 4.8. Hasil Pengujian Karakteristik Marshall Campuran LTBA-B Kasar	62
Tabel 4.9 Berat plastik pada campuran KAO (6.63%)	65
Tabel 4.10. Nilai Karakteristik Marshall Campuran dengan Variasi Penambahan Plastik pada Perendaman 0.5 jam pada suhu 60°C	66
Tabel 4.11. Nilai Karakteristik Marshall Campuran dengan Variasi Penambahan Plastik dan Perendaman 24 Jam pada suhu 60°C	68

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk yang semakin sangat pesat mengakibatkan meningkatnya peningkatan mobilisasi penduduk, sehingga bermunculan kendaraan-kendaraan baru baik kendaraan ringan sampai dengan kendaraan berat yang melintas di jalan raya. Oleh karena itu, dibutuhkan juga sarana transportasi yang cukup memadai untuk menampung volume kendaraan yang akan lewat, salah satunya adalah jalan.

Dengan mengingat vitalnya fungsi jalan dalam pendistribusian barang dan jasa sekaligus mobilitas penduduk, jalan merupakan salah satu infrastruktur utama dalam pergerakan roda ekonomi baik nasional maupun daerah. Keberadaan jalan merupakan prasyarat mutlak bagi investasi untuk masuk ke suatu wilayah. Dengan adanya jalan, masyarakat bisa mendapatkan akses pelayanan seperti pendidikan, kesehatan dan pekerjaan. Untuk itu perencanaan struktur perkerasan diperlukan untuk mendapatkan struktur yang kuat, tahan lama dan memiliki daya tahan tinggi terhadap deformasi plastis yang terjadi.

Disisi lain, diperkirakan 500 juta hingga satu miliar kantong plastik digunakan di dunia tiap tahunnya. Setiap tahun, sekitar 500 milyar sampai dengan 1 triliun kantong plastik digunakan di seluruh dunia. Diperkirakan setiap orang menghabiskan 170 kantong plastik setiap tahunnya. Lebih dari 17 milyar kantong plastik dibagikan secara gratis oleh supermarket di

seluruh dunia setiap tahunnya. Kantong plastik mulai marak digunakan sejak masuknya supermarket di kota-kota besar (Ifrani, et al., 2020).

Di Indonesia, menurut *Indonesia Solid Waste Association* (2013), jenis limbah plastik menduduki peringkat kedua sebesar 5,4 juta ton per tahun dan masuk dalam peringkat kedua di dunia sebagai penghasil limbah plastik ke laut setelah Tiongkok.

Plastik memiliki banyak manfaat tetapi juga memiliki sisi negatif khususnya limbah plastik. Namun limbah plastik membuka peluang untuk dimanfaatkan di bidang konstruksi jalan raya. Campuran beraspal memiliki beberapa kelemahan seperti mengalami deformasi (perubahan bentuk) permanen disebabkan tekanan yang terlalu berat oleh muatan truk yang berlebihan, keretakan-keretakan yang ditimbulkan oleh panas, juga kerusakan disebabkan karena kelembaban, ini semua terjadi pada campuran aspal (Brown, 1990, dalam (Sitorus, 2018).

Pemanfaatan limbah plastik ke dalam campuran aspal akan menaikkan kinerja campuran khususnya menaikkan stabilitas dan menjadi salah satu solusi dari permasalahan limbah plastik (Iskandar, 2017).

Dari uraian tersebut menjadi alasan penulis mengadakan penelitian di laboratorium terhadap campuran aspal dan permasalahan ini yang diangkat menjadi judul tugas akhir:

**” STUDI ANALISIS KINERJA CAMPURAN BERASPAL
MENGUNAKAN LIMBAH GELAS AIR MINERAL ”**

B. Rumusan Masalah

Dari uraian-uraian sebelumnya, maka permasalahan yang dapat dirumuskan yaitu:

1. Bagaimana karakteristik campuran aspal dengan penambahan limbah gelas air mineral?
2. Bagaimana kinerja durabilitas campuran aspal dengan penambahan limbah gelas air mineral?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis karakteristik campuran aspal dengan penambahan limbah gelas air mineral.
2. Menganalisis kinerja durabilitas campuran aspal dengan penambahan limbah gelas air mineral.

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Manfaat secara umum, yaitu:
 - a. Dapat memanfaatkan/mengurangi limbah terutama limbah gelas air mineral yang menjadi permasalahan lingkungan saat ini.
 - b. Mendorong perekonomian dalam pengelolaan limbah plastik yang dapat dijual khusus kepada penyedia jasa konstruksi jalan yang memanfaatkannya.

2. Manfaat secara khusus, yaitu:
 - a. Menjadi acuan untuk perancangan campuran beraspal yang memanfaatkan limbah gelas air mineral.
 - b. Sebagai bahan informasi dan referensi bagi para peneliti yang ingin melakukan penelitian lebih lanjut.

E. Batasan Masalah

Untuk membatasi agar penelitian ini tidak terlalu meluas maka batasan masalah dari penelitian ini, yaitu:

1. Jenis campuran beraspal yang diteliti hanya untuk rancangan campuran LTBA-B Kasar yang mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018.
2. Standar pengujian agregat dan aspal berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI), AASHTO, dan ASTM.
3. Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal minyak dengan nilai penetrasi 60/70.
4. Karakteristik campuran beraspal yang ditinjau dalam penelitian ini berdasarkan metode Marshall adalah VIM (*Voids in Mix*), VMA (*Voids Material Agregat*), VFA (*Voids Filled with Asphalt*), *Stability*, *Flow*, dan *Marshall Quotient*.
5. Pengujian dilakukan terhadap aspal dan campuran AC-WC dengan variasi persentase kadar plastik 0%; 1%; dan 2% terhadap berat aspal

dan variasi durasi perendaman pada suhu 60° C selama 0.5 Jam, dan 24 jam

6. Pada penelitian ini plastik *polypropylene* (PP) yang berasal dari limbah gelas air mineral digunakan sebagai *filler* campuran beraspal.
7. Penelitian yang dilakukan terbatas pada pengujian laboratorium.

F. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Pendahuluan memuat suatu gambaran secara singkat dan jelas tentang latar belakang mengapa penelitian ini perlu dilaksanakan. Dalam pendahuluan ini juga memuat rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan tugas akhir ini.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini merupakan uraian secara umum studi literatur tentang aspal beton menyangkut pengertian, jenis dan sifat aspal, spesifikasi bahan, pengertian karakteristik beton aspal.

BAB 3. METODE PENELITIAN

Bab ini menyajikan lokasi penelitian, tata cara pelaksanaan penelitian meliputi: metodologi penelitian, pemeriksaan bahan meliputi: agregat kasar, agregat halus, bahan pengikat (aspal) dan proses pelaksanaan rancangan campuran aspal.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab yang membahas dan menganalisa hasil pemeriksaan bahan dan benda uji dengan penambahan plastik 0%, 1% dan 2% serta perendaman 0,5 jam, 24 jam dan 7 Hari untuk mendapatkan stabilitas dan *flow* yang diperoleh dari laboratorium.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan penutup dari keseluruhan penulisan tugas akhir yang berisi tentang kesimpulan yang disertai dengan saran-saran mengenai keseluruhan penelitian maupun untuk penelitian yang akan datang.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Perkerasan Jalan Lentur

Perkerasan jalan lentur atau *flexible pavement* merupakan salah satu jenis konstruksi perkerasan jalan yang umum digunakan. Sukirman (1999) , mendefinisikan konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya. Lapisan-lapisan tersebut meliputi lapisan permukaan (*surface course*), lapisan pondasi atas (*base course*), lapisan pondasi bawah (*subbase course*), dan lapisan tanah dasar (*subgrade*). Lapisan permukaan merupakan bagian sering disebut sebagai campuran beraspal.

Menurut Ramli, dkk (2017), campuran beraspal merupakan lapisan yang bahan campurannya terdiri dari agregat (agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi/*filler*) dan aspal. Jenis-jenisnya dapat dibedakan berdasarkan bahan yang digunakan dan kebutuhan desain konstruksi aspal yang didesain. Secara umum, jenis jenis campuran beraspal meliputi jenis campuran sebagai berikut:

1. Lapis Tipis Aspal Pasir (LATASIR) atau *Sand Sheet (SS)*
2. Lapis Tipis Aspal Beton (LATASTON) atau *Hot Rolled Sheet (HRS)*
3. Lapis Aspal Beton (LASTON) atau *Asphalt Concrete (AC)*

B. Campuran Beton Aspal

Campuran beton aspal (*asphalt concrete/AC*) merupakan salah satu campuran beraspal panas yang menggunakan agregat bergradasi menerus (*continuous graded*). Campuran beraspal panas merupakan produk hasil pencampuran antara agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal keras serta bahan tambah pada suhu tertentu kemudian dihampar dan digilas pada suhu tertentu pula. Persentase dari komposisi bahan pembentuknya harus dihitung dan kualitas bahan harus memenuhi persyaratan tertentu sehingga campuran yang diperoleh memenuhi syarat kinerja sebagai bahan perkerasan, yaitu bernilai struktural, workabilitas yang baik, durabilitas tinggi, dan ekonomis (Iskandar, 2017).

B.1. Jenis-jenis Beton Aspal

Sukirman (2016), mengklasifikasikan aspal beton berdasarkan suhu pencampuran material pembentuk beton aspal, dan fungsinya.

Berdasarkan suhu pencampuran dan pematatannya, beton aspal dapat dibedakan atas:

1. Beton aspal campuran panas (*hotmix*), adalah beton aspal yang bahan pembentuknya dicampur pada suhu pencampuran sekitar 140°C.
2. Beton aspal campuran sedang (*warm mix*), adalah beton aspal yang bahan pembentuknya dicampur pada suhu pencampuran sekitar 60°C.
3. Beton aspal campuran dingin (*cold mix*), adalah beton aspal yang bahan pembentuknya dicampur pada suhu ruang sekitar 25°C.

Berdasarkan fungsinya, beton aspal dibedakan atas:

1. Beton aspal untuk lapisan aus (*wearing course*), adalah lapisan perkerasan yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan, merupakan lapisan yang kedap air, tahan terhadap cuaca, dan mempunyai kekesatan yang disyaratkan sehingga tak terjadi slip.
2. Beton aspal untuk lapisan pengikat atau disebut juga lapis perantara (*binder course*), adalah lapisan perkerasan yang terletak di bawah lapisan aus. Tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi perlu memiliki stabilitas untuk memikul beban lalu lintas yang dilimpahkan melalui roda kendaraan.
3. Beton aspal untuk lapisan fondasi, adalah lapisan perkerasan yang berfungsi sebagai lapis fondasi (*base course*) beton aspal untuk pembentuk dan perata lapisan beton aspal yang sudah lama, yang pada umumnya sudah aus dan sering kali tidak lagi berbentuk crown.

Menurut (Bina Marga, 2018), lapis aspal beton (Laston) atau AC, terdiri dari tiga jenis: AC Lapis Aus (AC-WC); AC Lapis Antara (*AC-Binder Course*, AC-BC) dan AC Lapis Fondasi (*AC-Base*), dengan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm, 37,5 mm. Setiap jenis campuran AC yang menggunakan bahan Aspal Polymer disebut masing-masing sebagai AC-WC Modifikasi, AC-BC Modifikasi, dan *AC-Base* Modifikasi.

B.2. Karakteristik Campuran Aspal Beton

Menurut (Sukirman, 2016), karakteristik yang harus dimiliki oleh campuran aspal beton adalah:

1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun *bleeding*. Sifat ini dibentuk oleh faktor gesekan internal antar butir-butir agregat dan aspal dan kohesi atau gaya ikat aspal.

2. Durabilitas

Durabilitas atau keawetan adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan, gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh tebalnya film atau selimut aspal, banyaknya rongga dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran.

3. Fleksibilitas

Fleksibilitas atau kelenturan adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan fondasi atau tanah dasar (konsolidasi atau *settlement*), tanpa terjadi retak. Penurunan terjadi akibat repetisi beban lalu lintas, ataupun akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli. Fleksibilitas dapat ditingkatkan

dengan menggunakan agregat bergradasi terbuka dan kadar aspal yang tinggi.

4. Ketahanan kelelahan (*fatigue resistance*)

Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*) adalah kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repetisi beban lalu lintas, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan atau retak. Hal ini dapat dicapai jika menggunakan kadar aspal yang tinggi.

5. Tahanan geser (*skid resistance*)

Kekesatan atau tahanan geser (*skid resistance*) adalah kemampuan permukaan beton aspal memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir ataupun slip terutama pada kondisi basah. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi.

6. Kedap air

Kedap air (impermeabilitas) adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara ke dalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal, dan pengelupasan film atau selimut aspal dari permukaan agregat. Jumlah rongga yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan dapat menjadi indikator kekedapan campuran. Tingkat impermeabilitas beton aspal berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.

7. Kemudahan pekerjaan (*workability*)

Kemudahan pekerjaan (*workability*) adalah kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Tingkat kemudahan dalam pelaksanaan, menentukan tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas aspal, kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur, dan gradasi sertakondisi agregat. Revisi atau koreksi terhadap rancangan campuran dapat dilakukan jika ditemukan kesukaran dalam pelaksanaan.

Ketujuh sifat campuran beton aspal ini tak mungkin dapat dipenuhi sekaligus oleh satu jenis campuran. Sifat beton aspal mana yang dominan lebih diinginkan akan menentukan jenis beton aspal mana yang akan dipilih.

B.3. Sifat Volumetrik Campuran Beton Aspal

Sukirman (2016), menjelaskan bahwa beton aspal dibentuk dari agregat, aspal, dan atau tanpa bahan tambahan, yang dicampur secara merata atau homogen di instalasi pencampur pada suhu tertentu. Campuran kemudian dihamparkan dan dipadatkan, sehingga terbentuk beton aspal padat.

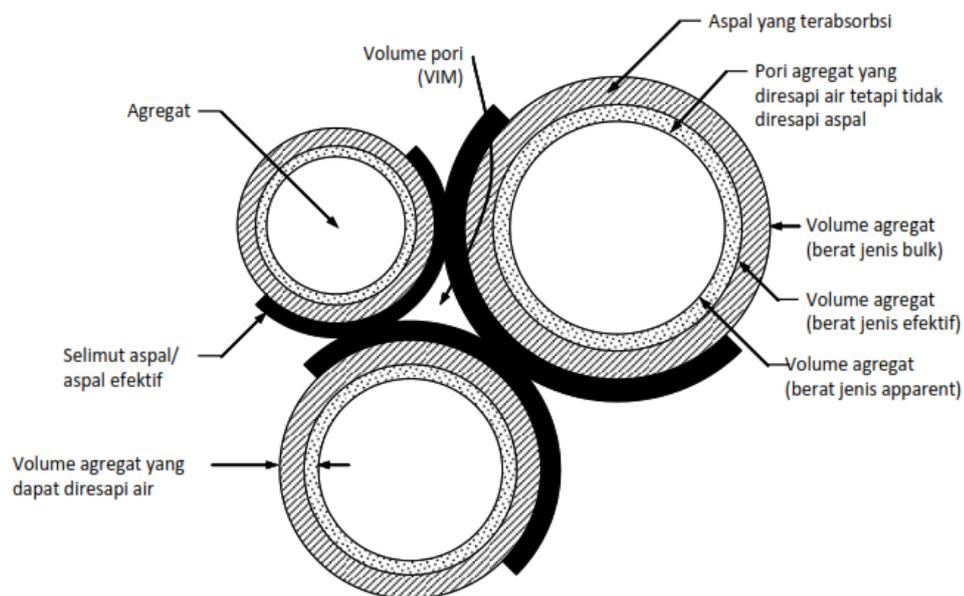
Secara analitis, dapat ditentukan sifat volumetrik dari beton aspal padat, baik yang dipadatkan di laboratorium, maupun di lapangan. Parameter yang biasa digunakan antara lain:

V_{mb} = volume *bulk* beton aspal padat

VMA = volume rongga di volume rongga di antara butir agregat campuran, dalam beton aspal padat, termasuk yang terisi oleh aspal, (**Void in the Mineral Aggregate**).

VIM = volume rongga beton aspal padat (**Void In Mix**)

VFA = volume rongga beton aspal padat yang terisi oleh aspal (**Volume of voids Filled with Asphalt**)



Gambar 2.1. Pengertian tentang VIM, selimut aspal, aspal yang telah terabsorpsi

Karakteristik beton aspal seringkali ditentukan menggunakan tebal film atau tebal selimut.

1. Berat jenis *bulk* beton aspal padat (G_{mb})

Berat jenis *bulk* dari beton aspal padat (G_{mb}) diukur menggunakan hukum Archimedes, yaitu:

$$G_{mb} = \frac{B_k}{B_{ssd} - B_a} \quad (1)$$

Dengan:

- G_{mb} = berat jenis bulk dari aspal padat
 B_k = berat kering beton aspal padat, gram
 B_{ssd} = berat kering permukaan dari beton aspal padat, gram
 B_a = berat beton aspal padat di dalam air, gram
 $B_{ssd} - B_a$ = volume bulk beton aspal padat, jika berat jenis air diasumsikan = 1

Nilai Penyerapan air dihitung menggunakan rumus (2). Persen penyerapan atau absorpsi air beton aspal padat=

$$PA = \frac{B_{ssd} - B_k}{B_{ssd} - B_a} \times 100 \quad (2)$$

2. Berat jenis maksimum beton aspal sebelum dipadatkan (G_{mm})

Berat jenis maksimum dari campuran beton aspal yang belum dipadatkan (= G_{mm}) adalah berat jenis campuran beton aspal tanpa rongga udara. Pengujian dilakukan di laboratorium mengikuti prosedur sesuai dengan AASHTO T209-90. (Sukirman, 2016)

$$G_{mm} = \frac{A}{A - C} \quad (3)$$

Dengan:

- G_{mm} = berat jenis maksimum dari campuran beton aspal yang belum dipadatkan
 A = berat campuran beton aspal yang belum dipadatkan pada kondisi kering (gram).
 C = berat campuran beton aspal yang belum dipadatkan, di dalam air (gram)

G_{mm} dapat pula diperoleh melalui perhitungan dengan berdasarkan berat campuran beton aspal yang belum dipadatkan sebanyak 100 gram. G_{mm} dapat diperoleh dengan rumus:

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_a}{G_a}} \quad (4)$$

Dengan:

G_{mm} = berat jenis maksimum dari campuran beton aspal yang belum dipadatkan

P_a = kadar aspal terhadap berat beton aspal padat, %

P_s = kadar agregat terhadap berat beton aspal padat, %

G_a = berat jenis aspal

G_{se} = berat jenis efektif dari agregat pembentuk beton aspal padat

3. Volume rongga dalam agregat campuran (VMA)

Volume rongga dalam agregat campuran (VMA = Voids in the Mineral Aggregate), adalah banyaknya rongga di antara butir-butir agregat di dalam beton aspal padat, dinyatakan dalam persentase terhadap volume bulk beton aspal padat. (Sukirman, 2016)

VMA dapat dihitung melalui 2 cara yaitu:

1. Jika komposisi campuran ditentukan sebagai persentase dari berat beton aspal padat.

$$VMA = \left(100 - \frac{G_{mb} \cdot P_s}{G_{sb}}\right) \% \quad (5)$$

dari volume bulk beton aspal padat, dengan:

VMA = volume rongga agregat di dalam beton aspal padat, %
dari volume bulk beton aspal padat

G_{mb} = berat jenis bulk dari beton aspal padat

P_s = kadar agregat, % terhadap berat beton aspal padat

G_{sb} = berat jenis bulk dari agregat pembentuk beton aspal
padat

2. Jika komposisi campuran ditentukan sebagai persentase dari berat agregat.

$$VMA = \left(100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{100+P_1}\right) \% \quad (6)$$

Dengan:

VMA = volume rongga antara butir agregat di dalam beton
aspal padat, % dari volume bulk beton aspal padat

G_{mb} = berat jenis bulk dari beton aspal padat

P_{a1} = kadar aspal, % terhadap berat agregat

G_{sb} = berat jenis bulk dari agregat pembentuk beton aspal
padat

4. Volume rongga dalam beton aspal padat (VIM)

Volume rongga dalam beton aspal padat (VIM) adalah volume rongga di antara butir-butir agregat yang diselimuti aspal atau volume rongga dalam beton aspal padat. VIM dinyatakan dalam persentase terhadap volume beton aspal padat (Sukirman, 2016). Adapun rumus perhitungannya yaitu:

$$VIM = \left(100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}\right) \% \quad (7)$$

Dengan:

VIM = volume rongga dalam beton aspal padat, % dari volume bulk beton aspal padat

G_{mm} = berat jenis maksimum Beton aspal yang belum dipadatkan

G_{mb} = berat jenis bulk dari beton aspal padat

5. Volume rongga antar butir agregat yang terisi aspal (VFA)

VFA adalah bagian dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk di dalamnya aspal yang menyerap ke dalam pori masing-masing butir agregat. Dengan demikian, aspal yang mengisi VFA adalah aspal yang berfungsi untuk menyelimuti butir-butir agregat di dalam beton aspal padat, menjadi film atau selimut aspal (Sukirman, 2016). Adapun rumus perhitungannya yaitu:

$$VFA = \frac{100(VMA - VIM)}{VMA} \% \text{ dari VMA} \quad (8)$$

Dengan:

VFA = volume rongga antara butir agregat yang terisi aspal
= % dari VMA

VMA = volume rongga antara butir agregat di dalam beton aspal padat, % dari volume bulk beton aspal padat

VIM = volume rongga dalam beton aspal padat, % dari volume bulk beton aspal padat

6. Kadar aspal

Banyaknya aspal yang mengabsorpsi atau menyerap ke dalam pori butir agregat dinyatakan sebagai persentase dari berat campuran agregat, dan disebut P_{ab} (Sukirman, 2016). Adapun rumus perhitungannya yaitu:

$$P_{ab} = 100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} \cdot G_{sb}} G_a \text{ \% dari berat agregat} \quad (9)$$

Dengan:

P_{ab} = kadar aspal yang mengabsorpsi ke dalam pori butir agregat, % dari berat agregat

G_{sb} = berat jenis *bulk* dari agregat pembentuk beton aspal padat

G_{se} = berat jenis efektif dari agregat pembentuk beton aspal padat

G_s = berat jenis aspal

Sementara itu, banyaknya aspal yang berfungsi menyelimuti permukaan setiap butir agregat adalah jumlah aspal yang dicampurkan ke dalam campuran beton aspal dikurangi bagian yang mengabsorpsi ke dalam pori setiap butir agregat. Kadar aspal ini disebut kadar aspal efektif (P_{ae}), yang dinyatakan sebagai persentase terhadap berat beton aspal padat. (Sukirman, 2016). Adapun rumus perhitungannya yaitu:

$$P_{ae} = P_a - \frac{P_{ab}}{100} P_s \text{ \% dari berat beton aspal} \quad (10)$$

Dengan:

P_{ae} = kadar aspal efektif yang menyelimuti butir-butir agregat,
% terhadap berat total beton aspal padat

P_a = kadar aspal terhadap berat beton aspal padat, %

P_s = kadar agregat terhadap berat beton aspal pada, %

P_{ab} = kadar aspal yang mengabsorbsi ke dalam pori butir
agregat, % dari berat agregat

7. Tebal selimut aspal

Banyaknya aspal yang berfungsi menyelimuti permukaan setiap butir agregat dinyatakan dengan kadar aspal efektif. Semakin tinggi kadar aspal efektif semakin tebal selimut atau film aspal pada masing-masing butir agregat (Sukirman, 2016). Adapun rumus perhitungannya yaitu:

$$\text{Tebal selimut aspal} = \frac{P_{ae}}{G_a} \cdot \frac{1}{LP \cdot P_s} \cdot 1000\mu \quad (11)$$

Dengan:

P_{ae} = kadar aspal efektif yang menyelimuti butir-butir agregat,
% terhadap berat total beton aspal padat

G_s = berat jenis aspal

P_a = kadar aspal terhadap berat beton aspal padat, %

LP = luas permukaan total dari agregat campuran di dalam
beton aspal padat

$$= \Sigma(FLP \times \% \text{lolos saringan}) \cdot 1000$$

Nilai FLP untuk satu set ukuran saringan menurut TAI seperti pada

Tabel 1.

Tabel 2.1. Metode Pengujian dan Spesifikasi Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Saringan		FLP
No	Bukaan, mm	m ² /kg
≥ No. 4	≥ 4,75	0,41
No. 8	2,36	0,82
No. 16	1,18	1,64
No. 30	0,6	2,87
No. 50	0,3	6,14
No. 100	0,15	12,29
No. 200	0,075	32,77

8. Berat jenis *bulk* agregat campuran

Masing-masing fraksi agregat mempunyai berat jenis yang berbeda, sehingga untuk menghitung berat beton aspal padat dibutuhkan berat jenis agregat campuran (Sukirman, 2016).

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \quad (12)$$

Dengan:

G_{sb} = berat jenis bulk agregat campuran

P_1, P_2, \dots, P_n = persentase berat masing-masing fraksi agregat terhadap berat total agregat campuran

$G_{sb1}, G_{sb2}, \dots, G_{sbn}$ = berat jenis *bulk* dari masing-masing fraksi agregat terhadap berat total agregat campuran

9. Berat jenis efektif agregat campuran

Berat jenis efektif campuran dapat dihitung dengan menggunakan berat jenis dari fraksi agregat yang dicampur seperti rumus 13.

$$G_{se} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{se1}} + \frac{P_2}{G_{se2}} + \frac{P_3}{G_{se3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sen}}} \quad (13)$$

Dengan:

G_{se} = berat jenis efektif agregat campuran

P_1, P_2, \dots, P_n = persentase berat masing-masing fraksi agregat terhadap berat total agregat campuran

$G_{se1}, G_{se2}, \dots, G_{sen}$ = berat jenis efektif dari masing-masing fraksi agregat terhadap berat total agregat campuran

C. Komponen Beton Aspal

Beton aspal terdiri dari beberapa komponen seperti aspal, agregat kasar, agregat halus, *filler* dan bahan tambah.

C.1. Agregat

Menurut Sukirman (2016), Agregat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. ASTM mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar, ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

Berdasarkan ukuran butirnya agregat dapat dibedakan atas agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*). Batasan dari masing-masing agregat ini seringkali berbeda, sesuai institusi yang menentukannya. ASTM dan Depkimpraswil dalam Spesifikasi Teknis Campuran Panas, 2010, membedakan agregat menjadi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*) (Sukirman, 2016).

1. Agregat kasar, adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan No.4 (= 4,75 mm) dan lebih kecil dari saringan 1½ inci.
2. Agregat halus, adalah agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan No.4 (= 4,75 mm) dan maksimum yang lolos saringan No.200 (=0,075 mm) adalah 10%.
3. Bahan pengisi (*filler*), adalah bagian dari agregat halus yang lolos saringan No. 200 (= 0,075 mm) minimum 75%.

C.2. Aspal

Menurut Sukirman (2016), aspal merupakan material yang bersifat termoplastis yaitu mencair jika dipanaskan dan kembali membeku jika temperatur turun. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4 - 10% berdasarkan berat campuran, atau 10 - 15% berdasarkan volume campuran.

Aspal dapat diperoleh di alam ataupun merupakan residu dari pengilangan minyak bumi. Aspal alam yaitu aspal yang ditemui di alam dan dapat digunakan sebagaimana diperolehnya atau dengan sedikit pengolahan, sedangkan aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu pengilangan minyak bumi.

Sebagai bahan pengikat, aspal juga menjadi bahan pengisi pada rongga-rongga dalam campuran. Dalam campuran beton aspal (laston) yang banyak memakai agregat kasar, penggunaan kadar aspal menjadi sangat tinggi karena karena aspal di sini berfungsi untuk mengisi rongga-rongga antar agregat dalam campuran. Untuk mengantisipasi kadar aspal yang tinggi digunakan aspal dengan mutu baik, dengan tujuan memperbaiki kondisi campuran dan menghasilkan campuran beton aspal yang baik sesuai dengan spesifikasi. (Iskandar, 2017).

C.3. Bahan Tambah

Penggunaan bahan tambah dalam campuran beton aspal menjadi suatu pilihan. Adapun dalam penelitian ini menggunakan limbah plastik gelas air mineral sebagai bahan tambah.

Menurut Suroso (2009) dalam Iskandar (2017), penambahan limbah plastik ke dalam campuran aspal telah banyak dilakukan baik di dalam maupun luar negeri dan telah dibuktikan dapat meningkatkan mutu campuran beraspal.

Plastik adalah suatu polimer (material sintetik buatan manusia) yang mudah dibentuk, dicetak, mempunyai sifat unik dan luar biasa. (Mujiarto, 2005). Menurut Syarief, et.al. dalam Iskandar (2017), plastik dibagi atas dua jenis berdasarkan sifat fisiknya, yaitu:

- a. *Thermoplast*, merupakan jenis plastik yang bisa didaur-ulang/dicetak lagi dengan proses pemanasan ulang. Polimer termoplastik memiliki sifat-sifat khusus yaitu jika dipanaskan akan melunak, jika didinginkan akan mengeras, mudah untuk diregangkan, fleksibel, titik leleh rendah, dapat dibentuk ulang (daur ulang), dan mudah larut dalam pelarut yang sesuai. Contoh plastik yang termasuk dalam jenis termoplastik adalah sebagai berikut:
- b. *Polyethylene* (PE), yang terdiri dari PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan berat jenis 1,34-1,39; HDPE (*High Density Polyethylene*) dengan berat jenis 0,96-0,97; dan LDPE (*Low Density Polyethylene*).

- c. *Polyvinilklorida* (PVC) dengan berat jenis 1,37–1,39.
- d. *Polipropena* (PP).
- e. *Polistirena* (PS) dengan berat jenis 1,04-1,09.
- f. *Polycarbonate* (*Other*) dengan berat jenis 1,2.

Thermosetting, merupakan jenis plastik yang tidak bisa didaur-ulang/dicetak lagi. Pemanasan ulang akan menyebabkan kerusakan molekul-molekulnya. Sifat polimer termosetting yaitu keras dan kaku (tidak fleksibel), jika dipanaskan akan mengeras, tidak dapat dibentuk ulang (sukar didaur ulang), tidak dapat larut dalam pelarut apapun, jika dipanaskan akan meleleh, tahan terhadap asam basa, dan mempunyai ikatan silang antar rantai molekul. Contoh plastik *termosetting* adalah asbak, *fitting* lampu listrik, *steker* listrik, peralatan fotografi, dan radio.

Tabel 2.2. Jenis-jenis plastik yang termasuk kategori termoplastik

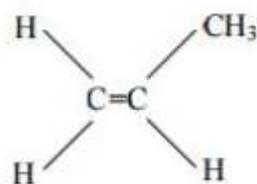
Simbol Daur Ulang.	Jenis Plastik	Sifat Sifat	Aplikasi Kemasan
	Polietilen Tereftalat (PET, PETE)	Bening, kuat, tangguh. Non permeabel (gas dan uap air)	Soft drink, botol air-salad keju kacang
	High Density Polietilen (HDPE)	Kaku, kuat, tangguh, tahan lembab	Susu, jus buah, kantong belanja

Tabel 2 (Lanjutan) Jenis-jenis plastik yang termasuk kategori termoplastik

	Polivinil Klorida (PVC)	Tangguh, kuat, mudah dicampur	Botol jus, pipa air, bungkus plastik
	Low Density Polietilen (LPDE)	Mudah diproses, kuat, tangguh, fleksibel, mudah disegel, tahan lembab	Kantong makanan beku, botol remas (kecap, saus, madu), bungkus plastik
	Polipropilen (PP)	Kuat, tangguh, tahan panas, minyak, bahan kimia, tahan lembab	Peralatan dapur, peralatan microwave, wadah yoghurt, piring dan mangkok sekali pakai
	Polistiren (PS)	Mudah dibentuk dan diproses	Karton telur, styrofoam, mangkuk sekali pakai
	Plastik lain (Polikarbonat atau ABS)	Tergantung dari jenis polimernya	Botol minuman, botol susu bayi, barang barang elektronik

1. Sifat Gelas plastik.

Gelas plastik air mineral yang akan digunakan pada penelitian ini adalah jenis *Propilene* (PP). Polipropilena merupakan polimer hidrokarbon yang termasuk kedalam polimer termoplastik yang dapat diolah pada suhu tinggi. Adapun struktur propilena tampak pada Gambar 2.



Gambar 2.2 Bentuk Struktur Propilena

Polipropilena merupakan jenis bahan baku plastik yang ringan, densitas 0.90-0.92, memiliki kekerasan dan kerapuhan yang paling tinggi dan bersifat kurang stabil terhadap panas dikarenakan adanya hidrogen tersier. Penggunaan bahan pengisi dan penguat memungkinkan polipropilena memiliki mutu kimia yang baik sebagai bahan polimer dan tahan terhadap pemecahan karena tekanan (stress-cracking) walaupun pada temperatur tinggi. Kerapuhan polipropilena di bawah 0°C dapat dihilangkan dengan penggunaan bahan pengisi (Gachter, 1990, dalam (Harsojuwono & Arnata, 2015)

2. Plastik dan campuran aspal.

Menurut Suroso 2009, dalam Iskandar (2017), ada dua teknik (metode) pencampuran plastik ke dalam campuran aspal, yaitu:

- a. Cara basah, (*wet process*), yaitu suatu cara pencampuran di mana plastik dimasukkan ke dalam aspal panas dan diaduk dengan kecepatan tinggi sampai homogen. Cara ini membutuhkan tambahan dana cukup besar antara lain bahan bakar, *mixer* kecepatan tinggi sehingga aspal modifikasi yang dihasilkan harganya cukup besar bedanya dibandingkan dengan aspal konvensional.
- b. Cara kering (*dry process*), yaitu suatu cara di mana plastik dimasukkan ke dalam agregat yang dipanaskan pada temperatur campuran, kemudian aspal panas ditambahkan.

Cara ini bisa lebih mudah dibandingkan cara basah, hanya dengan memasukkan plastik ke dalam agregat panas, tanpa membutuhkan peralatan lain untuk mencampur (*mixer*). Namun, untuk cara ini harus diperhatikan kehomogenan dan keseragaman kadar plastik yang dimasukkan atau dicampurkan.

Dalam penelitian ini menggunakan cara kering untuk menambahkan plastik ke dalam campuran beton aspal. Dari segi ekonomi, cara kering lebih murah karena waktu pencampuran lebih cepat, tidak membutuhkan peralatan lain untuk mencampur, dan lebih mudah ditangani dari pada cara basah (Suroso, 2009). Menurut Moghaddam, et.al. dalam Iskandar (2017) kepadatan dan kekakuan campuran akan meningkat jika hanya ditambahkan sedikit persentase plastik (0,2-1% dari berat agregat).

D. Lapis Tipis Beton Aspal (LTBA)

Jenis campuran yang dibahan pada penelitian ini adalah campuran Lapis Tipis Beton Aspal (LTBA) yang merupakan salah satu jenis lapis beton aspal yang berfungsi sebagai lapis aus.

D.1. Spesifikasi LTBA

Spesifikasi lapis tipis beton aspal (LTBA) berdasarkan (Bina Marga, 2018) mencakup ketentuan bahan agregat dan bahan pengikat (aspal), gradasi agregat campuran dan sifat sifat campuran.

LTBA yang menggunakan bahan pengikat aspal pen 60 terdiri dari dua jenis campuran yaitu, LTBA-A (ukuran agregat nominal maksimum 4.75 mm) dan LTBA-B (ukuran agregat nominal maksimum 9.5 mm). Untuk lapis tipis beton aspal yang menggunakan bahan pengikat aspal modifikasi disebut LTBA-B Mod Kasar.

D.2. Rancangan campuran LTBA

Rancangan campuran aspal panas pada penelitian ini menggunakan metode menetapkan gradasi terlebih dahulu kemudian dicari kadar aspal optimum. Oleh karena itu yang menjadi dasar adalah gradasi agregat campuran yang disyaratkan dan sifat campuran yang sesuai dengan spesifikasinya.

Hasil dari rancangan campuran aspal panas dibuatkan suatu benda uji dan pengujian dengan menggunakan alat *Marshall* serta menentukan kadar aspal optimum.

1. Kadar Aspal Rencana

Dalam menentukan Kadar aspal optimum, spesimen pada 6 kadar aspal berbeda rencana ini ditentukan dengan menggunakan data komposisi agregat kasar, agregat halus dan filler yang digunakan. Selain itu, jenis

campuran beraspal panas yang akan dilaksanakan juga sangat berpengaruh.

$$P_b = 0.035(\%CA) + 0.045(\%FA) + K(\%FF) + \text{Konstanta} \quad (14)$$

Di mana:

$\%CA$ = $\%Course$ Agregat (Agregat Kasar), % agregat yang tertahan saringan No. 8 (2.36 mm)

$\%FA$ = $\%Fine$ Agregat (Agregat Halus), % agregat yang lolos saringan No. 8 (2.36 mm) dan tertahan saringan No. 200 (0.075 mm)

$\%FF$ = $\%Fine Filler$ (Bahan Pengisi), % Filler lolos saringan No. 200 (0.075 mm)

K = 0.15 untuk lolos No.200 11-15%, 0.18 untuk lolos No. 200 6-10 % dan 0.2 untuk lolos No. 200 kurang dari atau sama dengan 6%

Konstanta = 0-2%, berdasarkan penyerapan aspal

2. Penyerapan Aspal

Menurut Silvia Sukirman (2003) dalam Iskandar (2017), aspal yang terdapat dalam beton aspal padat berfungsi sebagai penyalut butir-butir agregat dan pengisi pori di dalam masing-masing butir agregat. Banyaknya aspal yang terabsorpsi ke dalam pori butir-butir agregat dinyatakan sebagai persentase dari berat campuran agregat dan disebut P_{ab} :

$$P_{ab} = \frac{(G_{se} - G_{sb}) \times G_a}{G_{sb} \times G_{se}} \times 100 \quad (15)$$

Di mana :

P_{ab} = Banyaknya aspal yang terserap oleh agregat /penyerapan aspal

G_{se} = Berat jenis efektif agregat

G_{sb} = Berat jenis *bulk*/curah agregat

G_a = Berat jenis aspal

3. Benda uji

Benda uji dibuat dengan kadar aspal (P_b) yang diperoleh dari rumus 14, kemudian pembuatan benda uji disarankan membuat 5 variasi kadar aspal untuk mencari Kadar Aspal Optimum (KAO) yaitu $P_b-1.0\%$, $P_b-0.5\%$, P_b , $P_b+0.5\%$ dan $P_b+1.0\%$. Pembuatan benda uji ini juga disesuaikan dengan variabel-variabel yang akan diteliti.

E. Uji Marshall

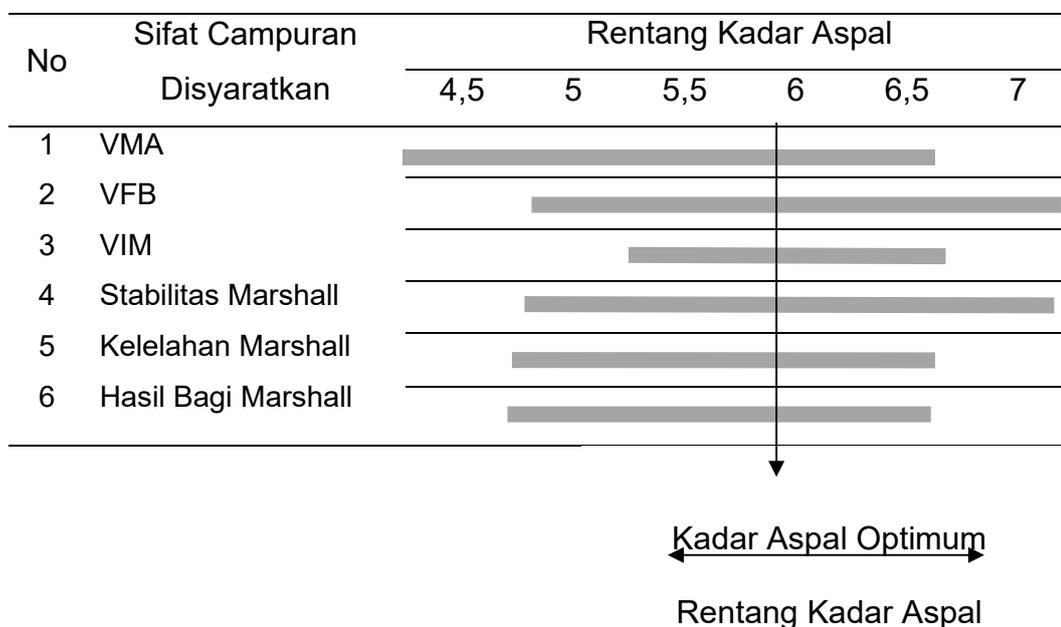
Uji *Marshall* bertujuan untuk menentukan ketahanan (*stabilitas*) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran aspal dan agregat. Ketahanan (*stabilitas*) adalah kemampuan suatu campuran beraspal untuk menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis, sedangkan kelelahan plastis (*flow*) adalah perubahan bentuk suatu campuran beraspal yang terjadi akibat pembebanan sampai mencapai batas runtuh. Alat *Marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) yang berkapasitas 3000 kg. *Proving ring* dilengkapi dengan arloji pengukur

yang berguna untuk mengukur stabilitas campuran disamping itu terdapat arloji kelelahan (*flow meter*) untuk mengukur kelelahan plastis.

F. Kadar aspal optimum

Kadar aspal optimum ditentukan dengan membuat variasi kadar aspal berdasarkan persentase yang ditentukan dari berat kering agregat kemudian dibuatkan benda uji. Benda uji kemudian diuji dengan metode *Marshall* untuk mendapatkan karakteristik campuran. Hasil-hasil ini yang kemudian diplot ke grafik rekapitulasi hasil tes untuk mendapatkan kadar aspal optimum (Iskandar, 2017). Penentuan kadar aspal optimum menggunakan metode *bar-chart* seperti yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2.3. Penentuan kadar aspal optimum metode *bar-chart*



Kadar Aspal Optimum (*KAO*) adalah kadar aspal yang mengalami *overlap* dari selang yang memenuhi semua spesifikasi dari parameter-parameter yang ditentukan dengan menggunakan standar Bina Marga, dimana ada 6 parameter yang harus dipenuhi, yaitu: Stabilitas, Kelelahan (*Flow*), *Marshall Quotient* (*MQ*), Rongga terisi aspal (*VFB*), Rongga dalam Campuran (*VIM*), dan Rongga dalam agregat (*VMA*).

G. Indeks Kekuatan Sisa

Indeks kekuatan diperoleh melalui pengujian terhadap sifat mekanik benda uji (stabilitas dan *flow*) yang dibagi dalam dua kelompok. Kelompok pertama diuji stabilitas Marshall-nya setelah perendaman dalam air pada suhu 60°C selama waktu T1 dan kelompok kedua diuji setelah perendaman pada suhu 60°C selama waktu T2.

Dari nilai stabilitas Marshall yang diperoleh pada kedua perendaman tersebut, ditentukan Indeks Kekuatan Sisa (*IKS*) Marshall dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Hunter, 1994 dalam (Alifuddin & Windarno, 2020)):

$$IKS = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \quad (16)$$

Dimana:

S1 = nilai rata-rata stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama T1 menit (Kg)

S2 = nilai rata-rata stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama T2 menit (Kg)

IKS = Indeks Kekuatan Sisa (%)

Nilai IKS yang disyaratkan oleh Bina Marga adalah minimum 75%. Nilai tersebut menandakan bahwa campuran aspal masih dianggap cukup tahan terhadap kerusakan yang ditimbulkan oleh pengaruh air. Dalam Asphalt Institute (2001), stabilitas adalah kemampuan campuran untuk melawan deformasi atau perubahan bentuk yang disebabkan oleh lalu-lintas yang harus dipikul. Stabilitas tergantung dari gaya gesek (internal friction) dan kohesi (cohesion), sedangkan internal friction tergantung pada surface texture, gradasi agregat, bentuk kombinasi dari gaya gesek dan kemampuan saling mengunci dari agregat pada campuran. Tahan gesek akan bertambah seiring dengan bertambahnya kekerasan dan area permukaan kontak agregat. Indeks Kekuatan Sisa (IKS) merupakan perbandingan stabilitas campuran yang direndam dengan stabilitas standar yang dinyatakan dalam persen. Angka IKS menunjukkan besarnya stabilitas yang masih dimiliki oleh campuran setelah dipengaruhi oleh air dari perendaman dengan lama waktu tertentu.