

SKRIPSI

**ANALISIS KARAKTERISTIK MARSHALL
CAMPURAN *HOT ROLLED SHEET WEARING COURSE (HRS-WC)*
MENGUNAKAN BAHAN TAMBAH PLASTIK BEKAS
JENIS *HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE)***

oleh

ELLIS SEPRIAN ARISANDI
NIM. DAB 116 039



JURUSAN/PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS PALANGKA RAYA

PALANGKA RAYA

2020

SKRIPSI

**ANALISIS KARAKTERISTIK MARSHALL
CAMPURAN *HOT ROLLED SHEET WEARING COURSE (HRS-WC)*
MENGUNAKAN BAHAN TAMBAH PLASTIK BEKAS
JENIS *HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE)***

Oleh :

ELLIS SEPRIAN ARISANDI
NIM. DAB 116 039

Disetujui untuk diajukan dalam Ujian Skripsi :

Palangka Raya, November 2020

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. DESRIANTOMY, M.T.
NIP. 196212231990021001

Ir. SUPIYAN, M.T.
NIP. 196402201993021002

Mengetahui:

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya
Ketua

Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T.
NIP. 197806082005011003

RINGKASAN

ANALISIS KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN *HOT ROLLED SHEET WEARING COURSE (HRS-WC)* MENGGUNAKAN BAHAN TAMBAH PLASTIK BEKAS JENIS *HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE)*, Ellis Seprian Arisandi, 2020, Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

Berbagai alternatif untuk meningkatkan kualitas dan umur suatu jalan salah satunya yaitu melakukan aspal modifikasi dengan penambahan bahan aditif. Aspal modifikasi adalah aspal minyak yang ditambah dengan beberapa aditif, dengan maksud untuk meningkatkan kinerja, dan mengetahui sejauhmana manfaat penggunaan limbah plastik bekas jenis *High Density Polyethylene (HDPE)* sebagai bahan tambah kedalam aspal campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)*, dengan aspal penetrasi 60/70.

Metode Penelitian ini menggunakan metode uji laboratorium, yaitu untuk mengetahui sejauhmana manfaat penggunaan plastik bekas sebagai bahan tambah pada campuran aspal panas dan upaya dalam penanganan pengurangan sampah plastik yang sulit terurai. Penelitian ini berupa pengujian marshall dengan 2 tahap. Pengujian tahap 1 mengetahui Kadar Aspal Optimum (KAO) direncanakan dengan variasi kadar aspal 6,5%, 7,0%, 7,5%, 8,0%, dan 8,5%. Pengujian tahap 2 dilakukan menggunakan KAO yang di dapat dari pengujian tahap 1 diikuti penambahan bahan tambah jenis *HDPE* dengan variasi kadar 2,0%, 4,0%, 6,0%, 8,0%, dan 10,0%.

Berdasarkan hasil dari penelitian ini KAO yang didapat pada tahap 1 sebesar 7,30%, dan hasil evaluasi sifat karakteristik Marshall diperoleh rentang penambahan plastik *HDPE* dengan kadar 2% hingga 10%, campuran memenuhi semua spesifikasi yang ditentukan. Kadar penambahan *HDPE* maksimum dari nilai parameter Marshall yang memenuhi semua persyaratan spesifikasi yaitu pada kadar penambahan *HDPE* sebesar 8,7% dari berat aspal menghasilkan nilai stabilitas naik 79,664 kg dari nilai stabilitas campuran tanpa menggunakan bahan tambah *HDPE*, nilai *flow* naik sebesar 0,089 mm, rongga dalam campuran (VIM) turun sebesar 0,9%, rongga terisi aspal (VFB) naik sebesar 3,450% dan hasil bagi Marshall naik sebesar 12,778 kg/mm.

Kata Kunci : Aspal Modifikasi, *High Density Polyethylene (HDPE)*, Parameter Marshall

SUMMARY

ANALYSIS OF CHARACTERISTICS THE MARSHALL MIXED HOT ROLLED SHEET WEARING COURSE (HRS-WC) USING ADDITIONAL MATERIALS USED PLASTIC HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE), Ellis Seprian Arisandi, 2020, Department/Civil Engineering program, Faculty of Engineering, University of Palangka Raya.

There are various alternatives to improve the quality and life of a road, one of which is to modify asphalt with the addition of additives. Modified asphalt is oil asphalt added with several additives, with the aim of improving performance, and to find out the benefits of using high density polyethylene (HDPE) used plastic waste as an additive to the Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC) mixture, with penetration asphalt 60/70.

The research method was used laboratory test methods, which was to determine the extent benefits of using used plastic as an additive to hot asphalt mixtures and efforts to reduce plastic waste that was difficult to decompose. This research is a marshall test with 2 stages. The first stage of testing to determine the optimal asphalt content (KAO) was planned with variations in asphalt content of 6.5%, 7.0%, 7.5%, 8.0%, and 8.5%. Phase 2 testing was carried out using KAO obtained from testing phase 1 followed by the addition of HDPE type additives with variations in levels of 2.0%, 4.0%, 6.0%, 8.0%, and 10.0%.

Based on the results of this research, KAO obtained in stage 1 was 7.30%, and the results of the Marshall characteristics evaluation was obtained a range by HDPE plastic additions with levels of 2% to 10%, the mixture met all the specified specifications. The optimum HDPE addition level from the Marshall parameter value that meets all the requirements of the specification was HDPE addition level of 9.26%. It was taken that the average addition of HDPE was 7.828% of the asphalt weight resulting in stability value increased by 79,664kg from the value of the mixture stability without using HDPE added material, the flow value increased by 0.1 mm, the cavity in the mixture (VIM) decreased by 0.9%, the cavity filled with asphalt (VFB) increased by 2.995% and the Marshall quotient increased by 11.029 kg / mm.

Keywords: Modified Asphalt, High Density Polyethylene (HDPE), Marshall Parameters

PRAKATA

Puji dan Syukur Kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas segala Berkat, Karunia dan Anugerah-Nya sehingga penyusunan Skripsi ini dapat diselesaikan dan kemudian diajukan pada Ujian Skripsi.

Skripsi dengan judul “**ANALISIS KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN *HOT ROLLED SHEET WEARING COURSE (HRS-WC)* MENGGUNAKAN BAHAN TAMBAH PLASTIK BEKAS JENIS *HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE)***” disusun sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan studi Program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

Pada kesempatan ini, tidak lupa diucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Waluyo Nuswantoro, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
2. Ibu Frieda, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
3. Bapak Dr. Sutan Parasian Silitonga, STP., S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Umum dan Keuangan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
4. Bapak Tatau Wijaya Garib, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
5. Bapak Dr. Rudi Waluyo, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Universitas Palangka Raya.
6. Ibu Veronika Happy P., S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan/Program

7. Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya dan Dosen Pembimbing Akademik.
8. Bapak Ir. Desriantomy, M.T. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir
9. Bapak Ir. Supiyan, M.T. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir.
10. Bapak Ir. H. Mohamad Amin, M.T. selaku Dosen Pembahas I Tugas Akhir.
11. Bapak Salonten, S.T., M.T. selaku Dosen Pembahas II Tugas Akhir.
12. Bapak Robby, S.T., M.T. selaku Dosen Pembahas III Tugas Akhir.
13. Seluruh Dosen Jurusan/Program Studi Teknik Sipil beserta Staff Tata Usaha Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
14. Teman-teman Mahasiswa Fakultas Teknik khususnya keluarga besar Teknik Sipil 2016 dan semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung membantu dalam penyelesaian Skripsi ini.

Akhir kata, dengan segala kerendahan hati dan menyadari akan segala kekurangan dalam penyajian Skripsi ini, diharapkan berbagai tanggapan, kritik dan saran yang sifatnya membangun demi perbaikan di masa yang akan datang. Terima Kasih.

Palangka Raya, November 2020

ELLIS SEPRIAN ARISANDI
NIM. DAB 116 039

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PRAKATA	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Batasan Masalah	5
1.5. Manfaat Penelitian	6
1.6. Lokasi Penelitian	6
1.7. Lokasi Pengambilan Material	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Perkerasan Jalan	8
2.2 Lapis Permukaan (<i>Surface Course</i>).....	10
2.3 <i>Hot Rolled Sheet (HRS)</i>	13
2.4 Plastik <i>High Density Polyethylene (HDPE)</i> Sebagai Bahan Aditif Pada Campuran Aspal	14
2.5 Bahan Campuran Beraspal Panas	17
2.6 Karakteristik Campuran Aspal	25
2.7 Metode Perencanaan Campuran	30
2.8 Perencanaan Campuran Pembentuk Lataston Lapis Aus (<i>Hot Rolled Sheet-Wearing Course</i>).....	35
2.9 Pengujian Marshall	38
2.10 Kajian Terhadap Penelitian Terdahulu	44

	Halaman
BAB III METODE PENELITIAN	50
3.1 Umum	50
3.2 Pengambilan Material	50
3.3 Pengambilan Data Sampel	50
3.4 Bahan Penelitian	51
3.5 Alat-alat Penelitian	52
3.6 Waktu dan Tempat Penelitian	56
3.7 Cara Penelitian.....	56
3.8 Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>)	62
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	70
4.1 Pelaksanaan Pengjian di Laboratorium	70
4.2 Pengujian Marshall	76
4.3 Analisis Hasil Pengujian Marshall dengan Variasi Kadar Aspal.....	79
4.4 Analisis Saringan Bahan Tambah Plastik Jenis <i>High Density Polyethylene (HDPE)</i>	84
4.5 Analisis Hasil Pengujian Marsall dengan Bahan Tambah Plastik Jenis <i>High Density Polyethylene (HDPE)</i>	85
BAB V PENUTUP	96
5.1 Kesimpulan.....	96
5.2 Saran	99
DAFTAR PUSTAKA	100
LAMPIRAN.....	102

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
1.1	Lokasi Penelitian	6
1.2	Lokasi Pengambilan Material	7
3.1	Bagan Alir Penelitian	69
4.1	Grafik Gradasi Gabungan Cara Diagonal.....	72
4.2	Grafik Gradasi Gabungan Cara <i>Trial And Error</i>	73
4.3	Grafik Hubungan Stabilitas Terhadap Variansi Kadar Aspal.....	80
4.4	Grafik Hubungan <i>Flow</i> Terhadap Variansi Kadar Aspal.....	81
4.5	Grafik Hubungan Rongga Udara dalam Campuran (VIM) Terhadap Variasi Kadar Aspal.....	82
4.6	Grafik Hubungan Rongga Terisi Aspal (VFB) Terhadap Variasi Kadar Aspal	83
4.7	Grafik Hubungan Nilai Hasil Bagi Marshall Terhadap Variasi Kadar Aspal	84
4.8	Grafik Hubungan Nilai Parameter Marshall Terhadap Kadar Aspal Optimum (KAO)	85
4.9	Grafik Hubungan Stabilitas Terhadap Variasi Penambahan Kadar Plastik.....	88
4.10	Grafik Hubungan Kelelehan (<i>Flow</i>) Terhadap Variasi Penambahan Kadar Plastik	89
4.11	Grafik Hubungan Rongga Udara dalam campuran (VIM) Terhadap Variasi Penambahan Kadar Plastik.....	90
4.12	Grafik Hubungan Rongga Terisi Aspal (VFB) Terhadap Variasi Penambahan Kadar Plastik	91
4.13	Grafik Hubungan Nilai Hasil Bagi Marshall Terhadap Variasi Penambahan Kadar Plastik	92
4.14	Grafik Hubungan Nilai Parameter Marshall Terhadap Variasi Penambahan Kadar Plastik	93
L22.1	Lokasi Pengambilan Material Eks. Palu.....	123
L22.2	Pengambilan Material Eks. Palu	123

L22.3	Lokasi Pengambilan Material Agregat Halus.....	124
L22.4	Penimbangan Material yang Akan di Oven.....	124
L22.5	Pengovenan Material yang akan Diperiksa Sifat Fisiknya.....	125
L22.6	Analisis Saringan Sampel Material	125
L22.7	Pengayakan Agregat Kasar untuk Uji Keausan.....	126
L22.8	Pengujian Keausan Agregat Kasar Menggunakan Mesin Los Angeles.....	126
L22.9	Penimbangan Agregat sesuai dengan Proporsinya	127
L22.10	Proses Pemanasan Agregat dan Aspal	127
L22.11	Pengecekan Suhu Pematatan.....	128
L22.12	Memasukan Campuran Aspal Panas ke dalam Mold.....	128
L22.13	Pematatan Briket/Benda Uji	129
L22.14	Mengeluarkan Benda Uji dengan Extruder	129
L22.15	Briket/Benda Uji untuk mencari Nilai Kao	130
L22.16	Uji Marshall I	130
L22.17	Sampel Plastik Jenis <i>High Density Polyethylene (HDPE)</i>	131
L22.18	Pencacahan Agregat Menggunakan Mesin Pencacah	131
L22.19	Sampel Plastik Yang Sudah Dicacah	132
L22.20	Sampel Plastik Yang Sudah Ditimbang Sesuai dengan Kadar Bahan Tambah Plastik Rencana	132
L22.21	Plastik Ditambahkan Pada Campuran Aspal Panas	133
L22.22	Briket/Benda Uji yang Sudah Ditambahkan Plastik	133
L22.23	Penimbangan Briket dalam Air.....	134
L22.24	Penimbangan Briket dalam Keadaan Jenuh	134
L22.25	Perendaman Briket dalam <i>Water Bath</i>	135
L22.26	Uji Marshall II	135

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1. Perbedaan antara Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku	9
2.2. Tipe-tipe Polimer	15
2.3. Ketentuan Agregat Kasar	18
2.4. Ketentuan Agregat Halus	19
2.5. Ketentuan Bahan Aspal untuk Campuran Beraspal	23
2.6. Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Lataston	37
2.7. Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal	37
2.8. Daftar Hasil Penelitian Terkait	48
3.1 Pembuatan Benda Uji untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum	65
3.2 Jumlah Benda Uji Menggunakan Bahan Tambah Plastik Jenis <i>High Density Polyethylene (HDPE)</i>	66
4.1 Hasil Analisis Saringan Masing-masing Agregat	68
4.2 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Masing-masing Agregat	71
4.3 Hasil Perhitungan Gradasi Gabungan Cara Diagonal	71
4.4 Hasil Perhitungan Gradasi Gabungan Cara <i>Trial and Error</i>	72
4.5 Rencana Komposisi Campuran	75
4.6 Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Terhadap Total Agregat	77
4.7 Hasil Pengujian Parameter Karakteristik Marshall	80
4.8 Nilai Parameter Karakteristik Marshall pada Kadar Aspal Optimum	86
4.9 Analisis Saringan Bahan Tambah Plastik Jenis <i>High Density Polyethylene (HDPE)</i>	86
4.10 Rencana Komposisi Campuran dengan Variasi Persentase Bahan Tambah Plastik Jenis <i>High Density Polyethylene (HDPE)</i>	87
4.11 Hasil Pengujian Karakteristik Marshall Tambah Plastik Jenis <i>High Density Polyethylene (HDPE)</i>	87
4.12 Nilai Parameter Marshall pada Kadar Plastik Maksimum	94
4.13 Perbandingan Nilai Parameter Marshall Campuran Tanpa Plastik dan dengan menggunakan Kadar Penambahan Plastik Maksimum	94

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Kasar Eks. Palu	100
2. Grafik Analisa Saringan Agregat Kasar Eks. Palu	101
3. Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus (Abu Batu) Eks. Palu	102
4. Grafik Analisa Saringan Agregat Halus (Abu Batu) Eks. Palu.....	103
5. Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus (Pasir) Eks. Tangkiling	104
6. Grafik Analisa Saringan Agregat Halus (Pasir) Eks. Tangkiling.....	105
7. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar Eks. Palu.....	106
8. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus (Abu Batu) Eks. Palu	107
9. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus (Pasir) Eks. Tangkiling .	108
10. Hasil Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	109
11. Hasil Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar Eks. Palu	110
12. Grafik Gradasi Gabungan Metode Diagonal.....	111
13. Tabel Perhitungan dan Grafik Gradasi Gabungan Metode Diagonal	112
14. Tabel Perhitungan dan Grafik Gradasi Gabungan Metode <i>Trial and Error</i>	113
15. Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat.....	114
16. Analisa Saringan Bahan Tambah Plastik Jenis <i>High Density Polyethylene (HDPE)</i>	115
17. Tabel Perhitungan Marshall I.....	116
18. Grafik Hubungan Parameter Marshall I.....	117
19. Tabel Perhitungan Marshall II.....	118
20. Grafik Hubungan Parameter Marshall II	119
21. Tabel Korelasi Stabilitas Terhadap Isi Benda Uji	120
22. Dokumentasi Penelitian	121

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan raya merupakan prasarana transportasi darat memegang peranan yang sangat penting dalam sektor perhubungan terutama untuk kesinambungan distribusi barang dan jasa. Keberadaan jalan raya sangat diperlukan untuk menunjang laju pertumbuhan ekonomi seiring dengan meningkatnya kebutuhan sarana transportasi yang dapat menjangkau daerah terpencil dan daerah yang memiliki potensi penting dalam perekonomian. Sehingga kemampuan jalan untuk menerima beban yang dilewati lalu lintas harus didukung oleh konstruksi jalan yang berkualitas, terutama pada jenis perkerasan jalan guna memberikan keamanan dan kenyamanan bagi pengguna jalan.

Salah satu jenis campuran perkerasan lentur yaitu Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston) sebagai lapis aus, dikenal dengan *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)*, jenis ini memiliki karakteristik sedikit berongga dalam struktur agregatnya, bergradasi senjang dengan kadar aspal yang relatif tinggi. Dalam hal ini aspal panas sering mengalami pelepasan butiran dan keretakan (Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, 2014). Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan dini pada perkerasan jalan agar menghasilkan jalan dengan kondisi yang memenuhi spesifikasi teknis dan mencapai umur rencana jalan, maka akan dilakukan upaya peningkatan mutu perkerasan jalan.

Berbagai alternatif untuk meningkatkan kualitas dan umur suatu jalan salah satunya yaitu dengan melakukan penambahan bahan aditif saat pencampuran aspal dan mineral *Asphalt Mixing Plant (AMP)* yang dikenal dengan sebutan aspal modifikasi. Salah satunya jenis modifikasi aspal dengan polimer, cara ini berpotensi untuk digunakan sebagai bahan tambah perkerasan jalan yang memiliki sifat dapat meningkatkan stabilitas, mengurangi kepekaan terhadap suhu dan meningkatkan ketahanan terhadap deformasi (Rianung, 2007).

Berdasarkan data Dinas Perumahan, Kawasan Permukiman dan Pertahanan Provinsi Kalimantan Tengah, sampah yang dibuang oleh masyarakat kota Palangka Raya mencapai 920,94 m³ perhari atau sekitar 138.141,50 kg perhari yang diantaranya terdiri dari 65% sampah Anorganik dan 35% sampah Organik. Jenis sampah yang paling dominan ialah jenis plastik. Plastik merupakan senyawa sintesis dari minyak bumi yang dibuat dengan reaksi polimerisasi molekul-molekul kecil (monomer) yang sama, sehingga membentuk rantai panjang dan kaku kemudian akan menjadi padat pada temperatur pembentukannya. Plastik memiliki titik didih dan titik beku yang beragam, tergantung monomer pembentuknya.

Plastik merupakan suatu komoditas yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Hampir semua peralatan atau produk yang digunakan terbuat dari plastik dan sering digunakan sebagai pengemas bahan baku. Namun pada kenyataannya, plastik menjadi salah satu masalah yang timbul dan berdampak buruk terhadap lingkungan dikarenakan plastik merupakan partikel yang sulit terurai dan membutuhkan waktu yang sangat lama. Jika plastik dibakar akan

menimbulkan zat-zat berbahaya yang berdampak terhadap kesehatan. (Kemala, 2012).

Penelitian ini melakukan uji coba dengan memanfaatkan plastik bekas yang akan digunakan kembali sebagai bahan tambah dalam campuran aspal untuk mengetahui seberapa besar pengaruh terhadap penambahan plastik Tipe *High Density Polyethylene (HDPE)* pada campuran *Hot Rolled Sheet - Wearing Course (HRS-WC)*. Ditinjau terhadap Parameter Marshall, yang diharapkan dengan penambahan bahan plastik bekas ini mampu meningkatkan kualitas campuran aspal dan juga sekaligus salah satu langkah penanganan pengurangan sampah yang sulit terurai dengan peningkatan nilai gunanya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Apakah agregat yang digunakan dalam campuran *Hot Rolled Sheet - Wearing Course (HRS-WC)* dengan bahan tambah plastik jenis *High Density Polyethylene (HDPE)* memenuhi persyaratan spesifikasi ?
2. Apakah penggunaan limbah plastik memberikan pengaruh terhadap karakteristik pada campuran lapis Asphalt *Hot Rolled Sheet - Wearing Course (HRS-WC)* ?
3. Berapa nilai kadar optimum (KAO) dan nilai Marshall yang dihasilkan dari nilai kadar aspal optimum (KAO) pada campuran *Hot Rolled Sheet - Wearing Course (HRS-WC)* ?

4. Berapa nilai karakteristik Marshall yang dihasilkan dengan menggunakan bahan tambah plastik jenis *High Density Polyethylene (HDPE)* dengan variasi kadar bahan tambah 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% terhadap berat aspal yang diperoleh dari kadar aspal optimum ?
5. Berapa kadar bahan tambah maksimum dari campuran *Hot Rolled Sheet - Wearing Course (HRS-WC)* dari variasi kadar bahan tambah yang diteliti ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui sifat-sifat fisik agregat yang digunakan dalam campuran *Hot Rolled Sheet - Wearing Course (HRS-WC)*.
2. Mengetahui proporsi dari komposisi yang digunakan pada campuran *Hot Rolled Sheet - Wearing Course (HRS-WC)*.
3. Mengetahui Pengaruh Penambahan plastik jenis *High Density Polyethylene (HDPE)* terhadap peningkatan karakteristik campuran aspal *Hot Rolled Sheet - Wearing Course (HRS-WC)* dengan aspal penetrasi 60/70.
4. Menentukan nilai kadar aspal optimum (KAO) serta nilai karakteristik Marshall yang dihasilkan dari nilai kadar aspal optimum (KAO) pada campuran *Hot Rolled Sheet - Wearing Course (HRS-WC)*.
5. Mengetahui kadar bahan tambah maksimum dari campuran *Hot Rolled Sheet - Wearing Course (HRS-WC)* dari variasi kadar bahan tambah yang diteliti.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini perlu dibatasi agar dapat dilakukan secara efektif dan tidak menyimpang dari tujuan penelitian. Adapun lingkup penelitian ini terbatas pada ;

1. Pemeriksaan sifat-sifat agregat berdasarkan metode dan standar Bina Marga.
2. Campuran aspal yang dipakai pada penelitian terdiri dari ;
 - a) Aspal keras penetrasi 60/70.
 - b) Agregat (kasar dan halus)
3. Bahan tambah yang digunakan adalah plastik bekas kemasan deterjen, botol shampo dan jerigen pelumas yang termasuk dalam jenis plastik *High Density Polyethylene (HDPE)*, dicacah menggunakan mesin pencacah plastik tipe PLT 60-D dengan ukuran hasil cacahan panjang dan lebar kurang dari 1 cm atau 100% lolos saringan 3/8" dan 90% lolos saringan No. 4, kemudian dicampurkan bersamaan dengan campuran aspal dan agregat yang dipanaskan.
4. Cacahan plastik yang digunakan harus dalam keadaan bersih dan kering.
5. Perubahan kimia yang terjadi pada pencampuran penggunaan plastik dan aspal diabaikan.
6. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

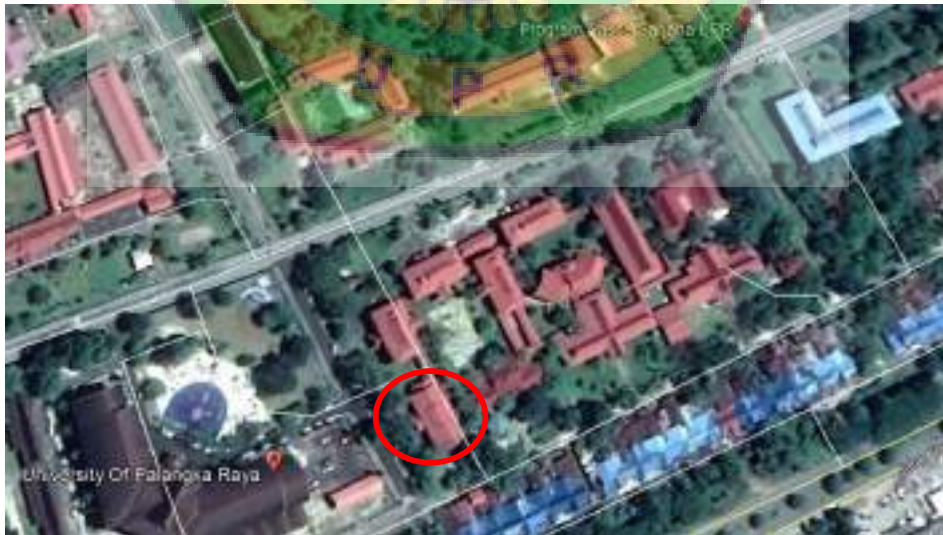
1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Bagi Penulis, sebagai aplikasi atau penerapan langsung terhadap bidang keahlian yang menjadi topik tugas akhir.
2. Bagi Akademisi, sebagai tambahan bahan kajian atau referensi untuk penelitian lebih lanjut/terkait.
3. Bagi Praktisi, sebagai metode alternatif pelaksanaan konstruksi perkerasan jalan guna peningkatan kualitas jalan menggunakan bahan campuran sampah plastik dalam upaya pelestarian lingkungan.

1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi pemeriksaan agregat dan pelaksanaan pengujian Marshall dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya Kota Palangka Raya Provinsi Kalimantan Tengah.



Sumber : Google Earth (2019)

Gambar 1.1 Lokasi Penelitian

1.7 Lokasi Pengambilan Material

Pengambilan Material berupa agregat kasar dan abu batu ex. Palu pada *stockfile* yang berada di *Asphalt Mixing Plant (AMP)* PT. Kalindra Utama Jalan Trans Kalimantan Palangka Raya-Kuala Kurun Desa Bahu Palawa Kabupaten Pulang Pisau dan Pengambilan Material agregat halus dari Tangkiling, Kecamatan Bukit Batu bertepatan di Km. 25 Jalan Tjilik Riwut.



Sumber : Google Earth (2019)

Gambar 1.2 Lokasi Pengambilan Material

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan raya adalah bagian jalan raya yang diperkeras dengan lapis konstruksi tertentu, yang memiliki ketebalan, kekuatan, dan kekakuan, serta kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas di atasnya ke tanah dasar secara aman. Lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Agar perkerasan jalan yang sesuai dengan mutu yang diharapkan, maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan (Silvia Sukirman, 2003)

Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan ikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas. Agregat dipakai antara lain adalah batu pecah, batu belah, batu kali, dan hasil samping peleburan baja. Sedangkan bahan ikat yang dipakai antara lain adalah aspal, semen, dan tanah liat. Berdasarkan bahan pengikatnya konstruksi jalan dapat dibedakan menjadi tiga macam yaitu :

1. Konstruksi perkerasan lentur (*Flexible Pavement*).

Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah lapis perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan ikat antar material. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan meneruskan serta menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Perkerasan lentur (*flexibel pavement*) merupakan perkerasan yang terdiri atas beberapa lapis perkerasan. Susunan lapisan perkerasan lentur secara ideal antara lain lapis tanah dasar (*subgrade*),

lapisan pondasi bawah (*subbase course*), lapisan pondasi atas (*base course*), dan lapisan permukaan (*surface course*).

2. Kontruksi Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*).

Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*) adalah lapis perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan ikat antar materialnya. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan diatas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas dilimpahkan ke pelat beton, bagian dari perkerasan kaku terdiri dari tanah dasar (*sub grade*), lapisan pondasi bawah (*sub-base*), lapisan beton (*blinding concrete*/beton lantai kerja), lapisan plat beton (*concrete slab*), dan lapisan aspal agregat/aspal pasir yang bisa ada bisa tidak ada (Sukirman, 2003).

Perbedaan utama antara perkerasan lentur dan kaku dapat terlihat pada

Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Perbedaan antara Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku

		Perkerasan Lentur	Perkerasan Kaku
1.	Bahan Pengikat	Aspal	Semen
2.	Repetisi beban	Timbul <i>rutting</i> (lendutan pada jalur roda)	Timbul retak-retak pada permukaan
3.	Penurunan tanah dasar	Jalan bergelombang (mengikuti tanah dasar)	Bersifat sebagai balok diatas perletakan
4.	Perubahan temperatur	Modulus kekakuan berubah	Modulus kekakuan tidak berubah
		Timbul tegangan dalam yang kecil	Timbul tegangan dalam yang besar

Sumber : Sukirman (2003)

3. Konstruksi perkerasan komposit (*Composite Pavement*).

Perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur diatas perkerasan kaku. Perkerasan komposit merupakan gabungan konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan lapisan perkerasan lentur (*flexible pavement*) di atasnya, dimana kedua jenis perkerasan ini bekerja sama dalam memikul beban lalu lintas. Untuk ini maka perlu ada persyaratan ketebalan perkerasan aspal agar mempunyai kekakuan yang cukup serta dapat mencegah retak refleksi dari perkerasan beton di bawahnya.

2.2 Lapis Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan permukaan adalah bagian perkerasan yang terletak pada bagian paling atas dari struktur perkerasan lentur dan memiliki fungsi antara lain:

1. Sebagai bagian dari perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban-beban roda kendaraan yang melintas di atasnya.
2. Sebagai lapisan kedap air untuk melindungi badan jalan dari kerusakan akibat cuaca.
3. Sebagai lapisan aus (*wearing course*), lapisan yang langsung menahan gesekan akibat rem kendaraan.
4. Sebagai lapisan yang menyebarkan beban ke bagian bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan yang mempunyai daya dukung lebih rendah.

Bahan untuk lapis permukaan umumnya adalah sama dengan bahan untuk lapis pondasi, dengan persyaratan yang lebih tinggi. Penggunaan bahan aspal diperlukan agar lapisan dapat bersifat kedap air, disamping itu bahan aspal sendiri

memberikan bantuan tegangan tarik, yang berarti mempertinggi daya dukung lapisan terhadap beban roda lalu lintas.

Pemilihan bahan untuk lapis permukaan perlu dipertimbangkan berdasarkan kegunaan, umur rencana serta pentahapan konstruksi, agar dicapai manfaat yang maksimum sesuai dengan spesifikasi teknis. Adapun jenis lapis permukaan yang umum dipergunakan di Indonesia antara lain :

1. Lapisan bersifat non-struktural, berfungsi sebagai lapisan aus dan kedap air, lapisan ini terdiri dari :
 - a. Laburan aspal satu lapis (burtu) adalah merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapisan aspal yang ditaburi dengan satu lapis agregat bergradasi seragam dengan tebal maksimum 2 cm.
 - b. Laburan aspal dua lapis (burda), merupakan lapis penutup yang terdiri lapisan aspal ditaburi agregat yang dilakukan dua kali berturut – turut dengan tebal maksimum 3,5 cm
 - c. Lapis tipis aspal pasir (latasir), merupakan lapis penutup yang terdiri dari lapis aspal dan pasir alam bergradasi menerus dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu pada suhu tertentu dengan tebal padat 1- 2 cm.
 - d. Laburan aspal (buras), merupakan lapis penutup terdiri dengan ukuran butir maksimum dari lapisan aspal taburan pasir 0,96 cm atau 3/8 inci.
 - e. Lapis tipis asbuton murni (latasbum), merupakan lapisan penutup yang terdiri dari campuran asbuton dan bahan pelunak dengan perbandingan tertentu yang dicampur secara dingin dengan tebal padat maksimum 1 cm.

- f. Lapis tipis aspal beton (laston), adalah lapisan penutup yang terdiri dari campuran agregat bergradasi senjang, mineral pengisi (*filler*) dan aspal keras dengan perbandingan tertentu; yang dicampur dan dipadatkan secara panas (dalam suhu tertentu, minimum 124°C), dengan ketebalan padat 2,5 cm atau 3 cm.
2. Lapisan bersifat struktural, berfungsi sebagai lapisan yang menahan dan menyebarkan beban roda kendaraan. Lapisan ini terdiri dari :
 - a. Lapis penetrasi macadam (lapen), merupakan suatu lapis perkerasan yang terdiri dari agregat pokok dengan agregat pengunci bergradasi terbuka dan seragam yang diikat oleh aspal keras dengan cara disemprotkan di atasnya dan dipadatkan lapis demi lapis dan apabila akan digunakan sebagai lapis permukaan perlu diberi laburan aspal dengan agregat penutup. Tebal padat tiap lapisannya dari 4-10 cm.
 - b. Lapis asbuton campuran dingin (lasbutag), merupakan campuran yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, asbuton, bahan pelunak dan mineral pengisi yang diaduk, dihampar dan dipadatkan secara dingin. Tebal padat tiap lapisannya antara 3-5 cm.
 - c. Lapis aspal beton (laston), merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, mineral pengisi dan aspal keras, yang dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu.

2.3 *Hot Rolled Sheet (HRS)*

Lapis tipis aspal beton (lataston) adalah lapisan penutup yang terdiri dari campuran agregat bergradasi senjang, bahan tambah (*filler*) dan aspal keras dengan perbandingan tertentu, yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas (dalam suhu tertentu, minimum 124°C), dengan ketebalan padat 2,5 cm atau 3 cm. (Silvia Sukirman, 2003).

Pembuatan lapis tipis aspal beton (lataston) bertujuan untuk mendapatkan suatu lapisan permukaan atau lapisan antar pada perkerasan jalan raya yang mampu memberikan sumbangan daya dukung serta berfungsi sebagai lapisan kedap air yang dapat melindungi konstruksi bawahnya. *Hot Rolled Sheet (HRS)* bersifat lentur dan mempunyai durabilitas yang tinggi, hal ini disebabkan campuran *HRS* dengan gradasi senjang mempunyai rongga dalam campuran yang cukup besar, sehingga mampu menyerap jumlah aspal dalam jumlah banyak (7-8%) tanpa terjadi kelebihan aspal (*bleeding*). Selain itu, *HRS* juga mudah dipadatkan sehingga lapisan yang dihasilkan mempunyai kedekatan terhadap air dan udara tinggi (Bina Marga, 2010).

Tujuan umum dari perencanaan campuran perkerasan aspal adalah untuk menetapkan satu penggabungan gradasi agregat yang ekonomis dan aspal (bitumen) yang akan menghasilkan campuran dengan ketentuan, antara lain :

1. Aspal (bitumen) yang cukup untuk menjamin keawetan perkerasan.
2. Stabilitas permukaan aspal yang memadai sehingga memenuhi kebutuhan lalu lintas tanpa adanya terjadi kerusakan dan penurunan.
3. Tersedianya rongga yang memadai di dalam total campuran padat sehingga masih memungkinkan adanya sedikit tambahan pemadatan akibat beban

lalu lintas tanpa pembilasan (*flushing*), kelebihan aspal (*bleeding*) dan kehilangan stabilitas.

4. Dalam hal pengerjaan cukup mudah dilakukan penghamparan campuran aspal secara efisien tanpa mengalami pelepasan butiran (*segregasi*).
5. Dapat menghasilkan campuran yang memiliki lapis perkerasan aspal yang sesuai dengan persyaratan dalam pemilihan lapis perkerasan pada tahap perencanaan.
6. Pada campuran lapis permukaan, agregat harus memiliki tekstur permukaan dan kekerasan untuk menyediakan tahanan gesek yang cukup pada kondisi cuaca buruk.

2.4 Plastik *High Density Polyethylene (HDPE)* sebagai Bahan Aditif pada Campuran Aspal

Aspal modifikasi merupakan aspal yang dibuat dengan mencampur aspal keras dengan suatu bahan tambah (*filler*) guna untuk meningkatkan stabilitas lapis perkerasan serta bentuk upaya mengurangi sampah plastik. Salah satu contoh aspal modifikasi adalah aspal modifikasi polimer.

Polimer sering digunakan dalam pembuatan perkerasan jalan sebagai modifikasi aspal. Penambahan bahan aditif jenis polimer dalam jumlah kecil ke dalam aspal terbukti dapat meningkatkan kinerja aspal dan memperpanjang umur kekuatan/masa layan perkerasan (Sengoz dan Isikyakar, 2008 dalam Nasution, 2017). *Polimer* juga dapat meningkatkan daya tahan perkerasan terhadap berbagai kerusakan, seperti deformasi permanen, retak akibat perubahan suhu, *fatigue damage*, serta pemisahan/pelepasan material (Yildirim, 2007 dalam Nasution, 2017).

Polimer dapat dibagi menjadi 2 kelompok kategori, yaitu *elastomer* (karet) dan *plastomer* (plastik). *Elastomer* adalah bahan aditif yang lentur, mampu meningkatkan titik leleh sampai dengan 60°C lebih tanpa kehilangan daya lengket. Penetrasi akan turun, perlu ditambah dengan bahan aditif lain yang mampu menaikkan angka penetrasi (contoh SBS, SBR dan sebagainya). *Plastomer* adalah bahan yang sering kita kenal sebagai plastik, kelompok *styrene*, yang berfungsi meningkatkan titik leleh dan meningkatkan kekentalan. Menurut pengamatan, bahan ini akan memberikan hasil baik untuk peningkatan titik leleh sampai dengan 55°C. Tetapi terjadi penurunan penetrasi yang drastis. Berikut ini adalah tipe-tipe polimer yang dicampur sebagai bahan aditif.

Tabel 2.2 Tipe-tipe Polimer

Tipe Polimer	Nama Umumnya	Keperluan Untuk Perkerasan
SBS (<i>Styrene Butadiene Styrene</i>)	<i>Thermoplastic Rubber</i>	<i>Hotmix</i> , Pengisian retak
EVA (<i>Ethylene Vinyl Acetate</i>)	<i>Thermoplastic</i>	Daya tahan terhadap alur, seal, retak
<i>Polyethylene;</i> <i>Polypropylene</i>	<i>Thermoplastic</i>	Daya tahan terhadap alur
SBR (<i>Styrene Butadiene Rubber</i>)	Karet Sintetis	Retak, alur
Karet Alam	Karet	Retak, alur

Sumber : Pusat Penelitian Bangunan Jalan dan Jembatan

Plastik banyak dimanfaatkan untuk berbagai keperluan manusia, mulai dari keperluan rumah tangga hingga industri. Penggunaan plastik sebagai pengemas pangan terutama karena keunggulannya dalam hal bentuknya yang fleksibel sehingga mudah mengikuti bentuk pangan yang dikemas, berbobot ringan, tidak mudah pecah, bersifat transparan/tembus pandang, mudah diberi label dan dibuat

dalam aneka warna, dapat diproduksi secara massal, harga relatif murah dan terdapat berbagai jenis pilihan bahan dasar plastik.

Dalam Penelitian ini menggunakan bahan aditif plastik bekas *High Density Polyethylene (HDPE)*. Jenis ini sering digunakan sebagai plastik kemasan deterjen, botol shampo dan jerigen pelumas. Plastik *High Density Polyethylene (HDPE)* memiliki ciri kuat, tidak transparan, keras, tahan terhadap suhu tinggi serta korosi. *HDPE* mempunyai massa jenis antara 0,95-0,97 gmL⁻¹, separuhnya berupa kristalin (50-60%) dan memiliki titik leleh 135°C (Billmeyer, 1971 dalam Diansari, 2016).

Asrar, Y.D. (2007) dalam tesisnya menyimpulkan bahwa penambahan plastik dalam aspal akan memberikan pengaruh yang baik terhadap sifat-sifat aspal. Hasil pengujian Marshall terhadap campuran beraspal yang mengandung plastik menunjukkan bahwa penambahan kadar plastik sampai dengan 3% pada aspal meningkatkan nilai stabilitas, berat isi, kepadatan agregat yang dipadatkan (*Compacted Aggregate Density*) dan *Marshall Quotient* campuran *Hot Rolled Asphalt*. Sejalan dengan peningkatan penambahan plastik pada aspal, nilai deformasi permanen campuran dari hasil tes jejak roda mengalami penurunan dan menyebabkan peningkatan terhadap stabilitas perkerasan.

Menurut (Suroso 2004 dalam JF. Soandrijanie Linggo, 2015) pencampuran plastik untuk menaikkan kinerja campuran beraspal ada dua cara yaitu cara basah dan cara kering :

- a. Cara basah (*wet process*) yaitu suatu cara pencampuran dimana plastik dimasukkan kedalam 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 pencampuran dimana plastik dimasukkan ke dalam agregat yang dipanaskan pada temperatur campuran, kemudian aspal panas ditambahkan. Cara ini lebih mudah hanya dengan memasukkan plastik dalam agregat panas, tanpa membutuhkan peralatan lain untuk mencampur (*mixer*). Kekurangan cara ini adalah harus benar-benar dapat dipertanggung jawabkan kehomogenan dan keseragaman kadar plastik yang dimasukkan/dicampurkan.

2.5 Bahan Campuran Beraspal Panas

Campuran aspal panas adalah suatu campuran perkerasan jalan lentur yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, bahan tambah (*filler*), dan bahan pengikat aspal dengan perbandingan-perbandingan tertentu dan dicampurkan dalam kondisi panas.

2.5.1 Agregat

Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan presentase berat, atau 75-85% agregat berdasarkan presentase volume. Dengan demikian, kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. Agregat adalah bahan pengisi atau yang dicampurkan dalam proses pembuatan aspal yang berasal dari batu dan mempunyai peranan penting terhadap kualitas aspal maupun

harganya. Sifat agregat merupakan salah satu penentu kemampuan perkerasan jalan memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca. Hal yang menentukan kualitas agregat sebagai material perkerasan jalan antara lain : gradasi, kebersihan, kekerasan, ketahanan agregat, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kemampuan untuk menyerap air, berat jenis dan daya kelekatan terhadap aspal. Butiran agregat dapat menyerap air dan menahan lapisan air tipis di permukaannya (Sukirman, 2003).

Secara umum agregat yang digunakan dalam campuran beraspal dibagi atas tiga fraksi, yaitu:

1) Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar untuk rancangan campuran adalah yang tertahan ayakan No.8 (2,36 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, awet, dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan (Bina Marga Revisi 3, 2010).

Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Standar Nilai	
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium sulfat	SNI 3407:2008	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 aspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks. 8%
		500 putaran	Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95 %
Butir pecah pada agregat kasar	SMA	SNI 7619 : 2012	95/90
	Lainnya		

Tabel 2.3 (Lanjutan)

Pengujian		Standar Nilai	
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA	ASTM D4791 Perbandingan 1 :5	Maks. 10 %
	Lainnya		
Material lolos Ayakan No.200		SNI 03-4142-1996	Maks. 2 %

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

2) Agregat Halus

Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No.8 (2,36 mm) (Bina Marga revisi 3, 2010). Fungsi utama agregat halus adalah mendukung stabilitas perkerasan dan mengurangi deformasi permanen dari campuran melalui ikatan (*interlocking*) dan gesekan antar partikel. Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung dan bukan bahan organik. Dalam konstruksi *Hot Rolled Sheet (HRS)* komposisi agregat halus merupakan bagian yang terbesar sehingga sangat mempengaruhi kinerja pada saat masa konstruksi maupun pada masa pelayanan. Agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min 50 %
Angularitas dengan uji kadar rongga	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan Lempung dan Butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Agregat lolos ayakan no. 200	SNI ASTM C117 : 2012	Maks. 10%

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

3) **Bahan Tambah (*Filler*)**

Bahan tambah (*filler*) merupakan material pengisi yang digunakan dalam lapisan aspal. *Filler* dalam campuran beton aspal adalah bahan yang 100% lolos saringan no.100 dan paling kurang 75% lolos saringan no.200. *Filler* berfungsi untuk mengisi rongga antar agregat halus dan kasar yang dapat diperoleh dari hasil pemecahan batuan secara alami maupun buatan, aspal dan *filler* dapat membentuk suatu pasta yang akan membalut dan mengikat agregat halus untuk membentuk mortar. Macam bahan pengisi yang dapat digunakan ialah abu batu, kapur padam, *portland cement (PC)*, abu terbang, debu tanur tinggi pembuat semen atau bahan mineral tidak plastis lainnya. Bahan pengisi bertujuan untuk meningkatkan kekentalan bahan aspal dan untuk mengurangi sifat rentan terhadap temperatur. Keuntungan lain dengan adanya bahan pengisi adalah karena banyak terserap dalam bahan aspal maka akan menaikkan volumenya. Selain itu bahan pengisi (*filler*) dapat mengurangi volume pori-pori atau rongga sehingga dapat meningkatkan kepadatan dan dapat menurunkan permeabilitas campuran aspal.

2.5.2 Aspal

Aspal adalah material utama pada konstruksi lapis perkerasan lentur (*flexible pavement*) jalan raya, yang berfungsi sebagai campuran bahan pengikat agregat, karena mempunyai daya lekat yang kuat, mempunyai sifat adhesif, kedap air, dan mudah dikerjakan. Aspal merupakan bahan yang plastis yang dengan kelenturannya mudah diawasi untuk dicampur dengan agregat. Aspal juga memiliki terhadap bahan kimia seperti, sangat tahan terhadap asam, alkali, dan garam-garaman. (Hendarsin, Shirley L, 2000).

Aspal atau bitumen merupakan material yang berwarna hitam kecoklatan yang bersifat viskoelastis sehingga akan melunak dan mencair bila mendapat cukup pemanasan dan sebaliknya. Sifat viskoelastis inilah yang membuat aspal dapat menyelimuti dan menahan agregat tetap pada tempatnya selama proses produksi dan masa pelayanannya. (Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas, 2002).

Aspal terbuat dari minyak mentah, melalui proses penyulingan atau dapat ditemukan dalam kandungan alam sebagai bagian dari komponen alam yang ditemukan bersama-sama material lain. Aspal dapat pula diartikan sebagai bahan pengikat pada campuran beraspal yang terbentuk dari senyawa-senyawa kompleks seperti *Asphaltenese*, *Resins* dan *Oils*. Aspal mempunyai sifat *visco-elastis* dan tergantung dari waktu pembebanan. Pada proses pencampuran dan proses pemadatan sifat aspal dapat ditunjukkan dari nilai viscositasnya, sedangkan pada sebagian besar kondisi saat masa pelayanan, aspal mempunyai sifat viscositas yang diwujudkan dalam suatu nilai modulus kekakuan.

Sedangkan sifat aspal lainnya adalah :

1. Aspal mempunyai sifat mekanis (*Rheologis*), yaitu hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) dipengaruhi oleh waktu. Apabila mengalami pembebanan dengan jangka waktu pembebanan yang sangat cepat, maka aspal akan bersifat elastis, tetapi jika pembebanannya terjadi dalam jangka waktu yang lambat maka sifat aspal menjadi plastis.
2. Aspal adalah bahan yang Thermoplastis, yaitu konsistensinya atau viskositasnya akan berubah sesuai dengan perubahan temperatur yang terjadi. Semakin tinggi temperature aspal, maka viskositasnya akan semakin rendah atau semakin encer demikian pula sebaliknya. Dari segi

pelaksanaan lapis keras, aspal dengan viskositas yang rendah akan menguntungkan karena aspal akan menyelimuti batuan dengan lebih baik dan merata. Akan tetapi dengan pemanasan yang berlebihan maka akan merusak molekul-molekul dari aspal, aspal menjadi getas dan rapuh.

3. Aspal mempunyai sifat *Thixotropy*, yaitu jika dibiarkan tanpa mengalami tegangan regangan akan berakibat aspal menjadi mengeras sesuai dengan jalannya waktu.
4. Sifat Adhesi dan Kohesi, Adhesi adalah kemampuan aspal untuk mengikat agregat dalam campuran. Sedangkan, Kohesi adalah kemampuan aspal untuk tetap mempertahankan ikatan antar agregat tetap pada tempatnya (stabil)

Fungsi aspal dalam campuran perkerasan adalah sebagai bahan pengikat atau perekat antar aspal dan agregat dan antara sesama aspal, sebagai bahan pengisi rongga (*filler*) antara butir agregat dan pori-pori yang ada dalam butir agregat itu sendiri dan sebagai pelumas pada saat penghamparan di lapangan sehingga memudahkan untuk dipadatkan. Agar dapat memenuhi fungsinya, aspal harus mempunyai daya tahan atau tidak cepat rapuh terhadap cuaca serta kedap air.

Pada AASHTO (1982) dinyatakan bahwa jenis aspal keras ditandai dengan angka penetrasi aspal, angka ini menyatakan tingkat kekerasan aspal atau tingkat konsistensi aspal. Semakin meningkatnya besar angka penetrasi aspal maka tingkat kekerasan aspal semakin rendah, sebaliknya semakin kecil angka penetrasi aspal maka tingkat kekerasan aspal semakin tinggi.

Semakin besar angka penetrasi aspal (semakin kecil tingkat konsistensi aspal) akan memberikan nilai modulus elastis aspal yang semakin kecil dalam

tinjauan temperatur dan pembebanan yang sama. Semakin tinggi suhu udara dan makin lambat beban yang lewat, maka modulus elastis aspal makin kecil. Lama pembebanan merupakan fungsi dari tebal perkerasan dan kecepatan kendaraan. Aspal yang umum digunakan di Indonesia adalah aspal dengan penetrasi 60/70 (Aspal Pen 60/70) dan penetrasi 80/100 (Aspal Pen 80/100).

Tabel 2.5 Ketentuan Bahan Aspal untuk Campuran Beraspal

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Penetrasi 60/70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				Elastomer Sintetis	
				PG70	PG76
1	Penetrasi, 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70	Dilaporkan ⁽¹⁾	
2	Temperatur yang menghasilkn Geser Dinamis ($G^{\circ}\text{Sin}\delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 1,0 \text{ kPa}$, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
3	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	ASTM D2170-10	≥ 300	≤ 3000	
4	Titik Lembek (°C)	SNI 2434-2011	≥ 48	Dilaporkan ⁽¹⁾	
5	Daktilitas pada 25 °C, (cm)	SNI 2432-2011	≥ 100	-	
6	Titik Nyala (°C)	SNI 2433-2011	≥ 232	≥ 232	
7	Kelarutan dalam Trichloroethyle	AASHTO T44-14	≥ 99	≥ 99	
8	Berat Jenis	SNI 2441-2011	$\geq 1,0$	-	

Tabel 2.5 (Lanjutan)

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Penetrasi 60/70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				Elastomer Sintetis	
				PG70	PG76
9	Stabilitas Penyimpanan : perbedaan titik lemek ($^{\circ}\text{C}$)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	$\leq 2,2$	
10	Kadar Parafin :in (%)	SNI 03-3639-2002	≤ 2		
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-02440-1991 atau RTFOT (SNI-03-6835-2002) :					
11	Berat yang hilang (%)	SNI-06-2441-1991	$\leq 0,8$	$\leq 0,8$	
12	Temperatur yang menghasilkn Geser Dinamis ($G^{\circ}\text{Sin}\delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 1,0 \text{ kPa}$, ($^{\circ}\text{C}$)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
13	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54	≥ 54	≥ 54
14	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432-2011	≥ 50	≥ 50	≥ 25
Residu aspal setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperature 100°C dan tekanan 2,1 MPa					
15	Temperatur yang menghasilkn Geser Dinamis ($G^{\circ}\text{Sin}\delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 1,0 \text{ kPa}$, ($^{\circ}\text{C}$)	SNI 06-6442-2000	-	31	34

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

2.6 Karakteristik Campuran Aspal

Campuran beton aspal adalah kombinasi material bitumen dengan agregat yang merupakan permukaan perkerasan yang biasa dipergunakan dalam perkerasan saat ini ini. Karakteristik campuran diperoleh melalui analisis hasil rancangan dan pengujian yang dilakukan selama pencampuran material dan pemadatan. Material aspal dipergunakan untuk semua jenis jalan raya dan merupakan salah satu bagian dari lapisan beton aspal jalan raya kelas satu hingga di bawahnya. Material aspal (bitumen) adalah hidrokarbon yang dapat larut dalam karbon disulfat, yang dimana biasanya dalam keadaan suhu panas akan melunak atau berkurang kepadatannya. Ketika terjadi pencampuran antara agregat dengan aspal dalam keadaan dingin, maka campuran tersebut akan mengeras dan akan mengikat agregat secara bersamaan dan membentuk suatu lapis permukaan perkerasan (Rian Putrowijoyo, 2006).

Menurut Silvia Sukirman 2003, terdapat tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal. Di bawah ini adalah penjelasan dari ketujuh karakteristik tersebut :

1. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut. Jalan dengan volume lalu lintas tinggi dan sebagian besar merupakan kendaraan berat menuntut stabilitas yang lebih besar dibandingkan dengan jalan yang volume lalu lintasnya hanya terdiri dari kendaraan penumpang saja. Kestabilan yang terlalu tinggi menyebabkan

lapisan itu menjadi kaku dan cepat mengalami retak, disamping itu karena volume antar agregat kurang maka kadar aspal yang dibutuhkan rendah. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butiran, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal.

Dengan demikian stabilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan mengusahakan penggunaan :

- a. Agregat dengan gradasi yang rapat (*dense graded*)
- b. Agregat dengan permukaan yang kasar
- c. Agregat yang berbentuk kubus
- d. Aspal dengan penetrasi rendah
- e. Aspal dengan jumlah yang mencukupi untuk ikatan anatar butir

Agregat dengan gradasi baik, atau bergradasi rapat akan memberikan rongga antar butiran agregat (*void in mineral aggregate*) yang kecil untuk menghasilkan stabilitas yang tinggi, tetapi membutuhkan kadar aspal yang rendah untuk mengikat agregat. *Void In Mineral Agregat (VMA)* yang kecil mengakibatkan aspal yang dapat menyelimuti agregat terbatas dan menghasilkan selimut aspal yang tipis. Selimut aspal yang tipis akan mudah terlepas yang mengakibatkan lapisan perkerasan tidak lagi kedap air, oksidasi mudah terjadi, dan lapis perkerasan mengalami kerusakan. Pemakaian aspal yang banyak mengakibatkan aspal tidak lagi dapat menyelimuti agregat dengan baik (karena *VMA* kecil) dan juga menghasilkan rongga antar campuran (*void in mix = VIM*) yang kecil.

2. Keawetan (*Durability*)

Keawetan adalah kemampuan aspal beton menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antar roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Durabilitas beton dipengaruhi oleh tebalnya selimut aspal (*film*), banyaknya pori-pori dalam campuran, kepadatan dan kedapnya air dalam campuran. Selimut aspal yang tebal akan membungkus agregat dengan baik, aspal beton akan lebih kedap air, sehingga kemampuannya menahan keausan semakin baik. Faktor yang mempengaruhi durabilitas lapis aspal beton adalah :

- a. (*Void In Mineral = VIM*) kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk kedalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh (*getas*).
- b. (*Void In Mineral Agregat = VMA*) besar sehingga selimut aspal dapat dibuat tebal. Jika *VMA* dan *VIM* kecil serta kadar aspal tinggi maka kemungkinan terjadinya *bleeding* cukup besar. Untuk mencapai *VMA* yang besar ini dipergunakan agregat bergradasi senjang.
- c. Selimut aspal (*Film*), film aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis aspal beton yang berdurabilitas tinggi, tetapi kemungkinan terjadinya *bleeding* menjadi besar.

3. Kelenturan (*Fleksibility*)

Kelenturan adalah kemampuan lapisan perkerasan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Untuk mendapatkan fleksibilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan :

- a. Penggunaan agregat bergradasi senjang sehingga diperoleh *VMA* yang besar.
- b. Penggunaan aspal lunak (aspal dengan penetrasi yang tinggi).
- c. Penggunaan aspal yang cukup banyak sehingga diperoleh *VIM* yang kecil.
4. Ketahanan terhadap kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Ketahanan terhadap kelelahan adalah kemampuan lapis aspal beton dalam menerima beban berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (*rutting*) atau retak. Hal ini dapat terpenuhi jika campuran aspal yang digunakan memiliki kadar aspal tinggi. Faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah :

- a. *VIM* yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan yang lebih cepat.
- b. *VMA* dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi fleksibel.
5. Kekesatan terhadap slip (*Skid Resistance*)

Kekesatan terhadap slip adalah kemampuan lapis permukaan aspal beton terutama pada kondisi basah, memberikan gaya pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir atau slip. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butiran, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal selimut aspal. Ukuran maksimum butir agregat ikut menentukan kekesatan permukaan perkerasan. Dalam hal ini agregat yang digunakan tidak saja hanya mempunyai permukaan kasar, tetapi juga harus mempunyai daya tahan tidak mudah menjadi licin pada permukaan akibat repetisi

kendaraan. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antara permukaan jalan dengan roda kendaraan.

Tingginya nilai tahanan geser ini dipengaruhi oleh :

- a. Penggunaan agregat dengan permukaan kasar
 - b. Penggunaan kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi *bleeding*
 - c. Penggunaan agregat berbentuk kubus
 - d. Penggunaan agregat kasar yang cukup
6. Kedap Air (*Impermeability*)

Kedap air adalah kemampuan aspal beton untuk tidak dapat dilewati air ataupun udara kedalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaian aspal, dan pengelupasan selimut aspal (*film*) dari permukaan agregat. Jumlah pori yang tersisa setelah aspal dipadatkan dapat menjadi indikator kedap air dalam campuran, tingkat impermeabilitas aspal beton berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.

7. Kemudahan Pelaksanaan (*Workability*)

Kemudahan Pelaksanaan adalah kemampuan campuran aspal beton untuk memudahkan penghamparan dan pemadatan, sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. *Workability* ini dipengaruhi oleh :

- a. Gradasi agregat yang baik akan lebih mudah dilaksanakan dari pada agregat bergradasi lain.
- b. Temperatur campuran yang ikut mempengaruhi kekerasan bahan pengikat yang bersifat termoplastis.
- c. Kandungan bahan pengisi (*filler*) yang tinggi menyebabkan pelaksanaan lebih sulit.

Ketujuh sifat campuran aspal beton ini tidak mungkin dapat dipenuhi sekaligus oleh satu campuran. Dalam perancangan tebal perkerasan harus diperhatikan sifat-sifat aspal beton yang dominan lebih diinginkan akan menentukan jenis beton aspal yang dipilih. Jalan yang melayani lalu lintas ringan seperti mobil penumpang sepantasnya lebih memilih jenis beton aspal yang mempunyai sifat durabilitas dan fleksibilitas yang tinggi daripada, memilih jenis beton aspal dengan stabilitas tinggi (Leily, 2012).

2.7 Metode Perencanaan Campuran

Metode perencanaan campuran tentunya diperlukan untuk memenuhi spesifikasi, sehingga diharapkan dapat menghasilkan campuran yang memenuhi kriteria yang baik dan agregat yang tersedia.

Metode perencanaan campuran yang digunakan pada penelitian ini menggunakan Metode Standar Bina Marga. Metode ini dipakai untuk menghitung perkerasan aspal yang digelar di atas *subgrade* yang telah dipadatkan (sistem dua lapisan).

Rencana ketebalan didasarkan kepada pembahasan berikut :

1. Perpanjangan relatif horizontal pada lapisan di bawah aspal, untuk mengurangi retak akibat kelelahan pada *asphalt concrete*.
2. Tegangan tekanan vertikal pada permukaan lapisan *subgrade*, untuk mengurangi gaya-gaya yang mengakibatkan *rutting* pada permukaan.

Perencanaan campuran dengan metode ini bertitik tolak pada stabilitas yang dihasilkan. Oleh karena itu yang menjadi dasar adalah gradasi agregat campuran yang harus memenuhi lengkung *Fuller*. Gradasi gabungan yang dipergunakan pada metode ini adalah agregat bergradasi baik atau menerus.

Dari data analisa butiran masing-masing jenis material, selanjutnya dapat direncanakan bagaimana komposisi perbandingan campuran gabungan yang memenuhi persyaratan gradasi.

Banyak cara untuk merencanakan komposisi perbandingan campuran antara lain :

1. Cara Coba-coba (*Trial and Error*)

Prinsip dan cara coba-coba (*Trial and Error*) adalah sebagai berikut :

- a. Memahami batas gradasi yang disyaratkan.
- b. Memasukan data spesifikasi gradasi pada kolom spesifikasi unit.
- c. Memasukan persentase lolos saringan pada masing-masing jenis agregat kedalam persentase lolos.
- d. Memasukan spesifikasi ideal pada kolom target *value*, yaitu nilai salah satu dari spesifikasi ideal yang disyaratkan.
- e. Mengambil salah satu spesifikasi ideal dengan jenis yang ada, dalam hal ini agregat kasar, sedang dan halus kemudian dicampur ketiganya dengan jumlah 100% dan nilai gabungannya mendekati nilai spesifikasi ideal yang kita ambil.
- f. Jika sudah mendekati salah satu nilai spesifikasi ideal dan ketiga agregat, yang lain dihitung atau digabung dengan presentase yang sama. Sehingga dapat dipergunakan sebagai gradasi untuk campuran aspal panas.

2. Cara Diagonal

Prinsip dan langkah cara diagonal adalah sebagai berikut :

- a. Mengetahui gradasi ideal yang akan digunakan dan persyaratan gradasi yang ditentukan.
- b. Menggambar empat persegi panjang dengan ukuran (10 x 20) cm pada milimeter blok.
- c. Membuat garis diagonal dari ujung kiri bawah ke ujung kanan atas.
- d. Sisi vertikal menyatakan persentase lolos saringan dengan skala 0 di bawah dan 100 diatas.
- e. Dengan melihat spesifikasi ideal, tiap-tiap nilai ideal tersebut diletakkan pada garis diagonal berupa titik.
- f. Dan tiap titik pada diagonal ditarik garis vertikal untuk menempatkan nomor-nomor saringan.
- g. Digambar grafik gradasi dan masing-masing fraksi yang akan dicampur.
- h. Untuk menentukan persentase agregat kasar, dilihat dari jarak antara grafik gradasi kasar terhadap tepi bawah dan jarak grafik sedang terhadap tepi atas yang harus sama pada suatu garis lurus.
- i. Pada garis tersebut ditarik garis vertikal yang memotong garis diagonal. Kemudian dari titik potong ini ditarik garis horizontal yang memotong garis tepi, sehingga didapat persentase agregat kasar yang diperlukan.
- j. Langkah h dan i diulangi untuk mendapatkan persentase agregat halus dan bahan pengisi *filler*.

Setelah diperoleh komposisi dan setiap jenis fraksi agregat, dibuat suatu tabel hasil analisa gabungan agregat, dimana persentase masing-masing fraksi yang

akan digunakan diperoleh dari hasil perkalian dengan persentase lolos untuk masing-masing nomor saringannya. Kemudian dijumlahkan untuk masing-masing nomor saringan lalu dilihat apakah gradasi tersebut sudah memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan sesuai jenis campuran yang akan dibuat. Hasil penggabungan agregat diusahakan mendekati *ideal spec*. Jika melalui grafik diagonal tepat, maka digunakan cara coba-coba (*Trial and Error*), yaitu menentukan terlebih dahulu persentase dari masing-masing agregat (tanpa mengubah persen lolos). Kemudian hasil penggabungan agregat diperoleh melalui perkalian persentase dengan persen lolos dari agregat. Selanjutnya hasil perkalian tersebut masing-masing dijumlahkan dan dilihat apakah hasilnya mendekati nilai *ideal spec*. selanjutnya dibuat grafik penggabungan agregat dan grafik spesifikasinya, setelah itu dihitung berat masing-masing fraksi yaitu persentase fraksi dikali dengan kapasitas *mould*.

Berat masing-masing fraksi campuran ini, dibagi-bagi lagi berdasarkan ukuran saringan sesuai dengan persentase tertahan agregatnya yang akan digunakan untuk pembuatan briket benda uji.

3. Cara Grafis

Prinsip dan cara grafis adalah sebagai berikut:

- a. Membuat kotak dengan ukuran bujur sangkar (10 x 10 cm) sebanyak dua buah pada kertas millimeter blok.
- b. Untuk sisi kiri merupakan persentase agregat kasar.
- c. Plot pada garis tepi titik-titik dari masing-masing nomor saringan untuk agregat sedang.
- d. Gabungkan masing-masing titik/nomor saringan yang sama.
- e. Pada garis-garis penghubung tersebut ditentukan batas spesifikasi.

- f. Tentukan batas maksimum dan minimum yang paling dekat terhadap garis agregat kasar dan agregat sedang yang paling dekat.
- g. Dari batas maksimum dan minimum tersebut ditarik garis vertikal.
- h. Tarik garis yang membagi dua daerah maksimum dan minimum sehingga dari garis ini dapat ditentukan persentase agregat kasar dan halus.
- i. Pada bujur sangkar yang ke dua, tarik garis mendatar untuk memindahkan nomor-nomor saringan.
- j. Pada garis sisi kanan sebagai agregat halus, tentukan titik-titik pada garis tersebut sesuai ukuran saringan.
- k. Hubungkan kedua titik pada garis agregat kasar dan agregat sedang serta agregat halus.
- l. Tentukan spesifikasi yang berlaku.
- m. Cari harga maksimum dan minimum yang mempunyai jarak terdekat.
- n. Tarik garis vertikal dari masing-masing titik maksimum dan minimum tersebut.
- o. Tarik garis pembagi dua, sehingga dapat ditentukan persentase agregat kasar, agregat sedang dan agregat halus.

Setelah didapat perbandingan komposisi dan masing-masing agregat maka selanjutnya akan dibuat beberapa contoh campuran dengan variasi kadar aspal. Bruce Marshall mengembangkan suatu metode untuk pembuatan dan pengujian benda uji. Metode ilmiah inilah yang akhirnya dikenal dengan istilah “Metode Marshall”.

Pemeriksaan terhadap benda uji (briket) dilakukan dengan alat Marshall, untuk menentukan ketahanan/stabilitas terhadap kelelahan plastis (*flow*) dan campuran aspal dan agregat. Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan cincin penguji (*proving ring*) yang berkapasitas 2.500 kg atau 5.000 pound proving ring dilengkapi dengan arloji pengukur stabilitas campuran dan terhadap pula arloji lelehan (*flow meter*) untuk mengukur kelelahan plastis (*flow*).

2.8 Perencanaan Campuran Pembentukan Lataston Lapis Aus (*Hot Rolled Sheet-Wearing Course*)

Perencanaan campuran diperlukan untuk mendapatkan komposisi campuran yang memenuhi spesifikasi, menghasilkan campuran yang memenuhi kinerja yang baik dari agregat yang tersedia. Campuran beton aspal pada umumnya terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan aspal. Bahan tambah (*filler*) akan diperlukan bila agregat (pasir dan batuan) yang dipakai tidak cukup mengandung bahan halus (fraksi abu) yang dibutuhkan untuk sifat campuran aspal tersebut agar memenuhi standar persyaratan pengujian Marshall.

2.8.1 Pengujian Material

Sebelum merencanakan campuran aspal, terlebih dahulu harus dilaksanakan pengujian material agregat kasar, halus, filler dan aspal. Sifat-sifat material yang digunakan harus memenuhi spesifikasi yang ditentukan.

2.8.2 Penentuan Gradasi Agregat

Gradasi masing-masing jenis agregat (kasar, halus, dan *filler*) mungkin saja ditentukan dalam spesifikasi suatu jenis campuran aspal panas. Demikian pula gradasi agregat gabungannya. Gradasi agregat gabungan bisa diperoleh dengan mencampurkan (*blending*) agregat kasar, halus dan mineral pengisi (*filler*). Teknik mencampur (*blending*) agregat dapat dilaksanakan secara analitis maupun secara grafis.

Perencanaan gradasi agregat untuk campuran aspal di laboratorium, bisa dilaksanakan tanpa memblending agregat, yaitu berdasarkan gradasi ideal (batas tengah) spesifikasi gradasi agregat gabungan yang ditentukan. Masing-masing ukuran butir agregat diperoleh dengan mengayak agregat sesuai ukuran ayakan yang ditentukan. Kemudian proporsi agregat dicari berdasarkan kumulatif persentase lolos gradasi ideal.

2.8.3 Estimasi Kadar Aspal Awal

Untuk menentukan kadar aspal awal terdapat beberapa pendekatan, yaitu dengan formula sebagai berikut :

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + K \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

P_b = % kadar aspal awal terhadap berat total campuran

$\%CA$ = % agregat kasar (*coarse aggregate*) terhadap berat total agregat

$\%FA$ = % agregat halus (*fine aggregate*) terhadap berat total agregat

$\%FF$ = % filler terhadap berat total agregat

K = Nilai konstanta kira-kira 2,0 sampai 3,0 untuk laston.

2.8.4 Kriteria Perencanaan Campuran Lataston Lapis Aus (*Hot Rolled Sheet-Wearing Course*)

Ada beberapa kriteria campuran Lataston lapis aus yang menjadi acuan bagi para perencana dalam melakukan perencanaan, yaitu :

a. Sifat-sifat campuran

Sifat-sifat campuran beton aspal jenis Lataston atau HRS harus memenuhi batas-batas rencana seperti pada tabel 2.6 berikut :

Tabel 2.6 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Lataston

Sifat-sifat campuran		Lataston	
		Lapis Aus	Lapis Pondasi
Kadar Aspal Efektif (%)	Min	5,9	5,5
Jumlah tumbukan perbidang (%) ⁽⁴⁾		50	
Rongga dalam campuran (%)	Min	4,0	
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Maks	6,0	
Rongga terisi aspal (%)	Min	18	17
Stabilitas Marshall (Kg)	Min	68	
Marshall Quotient	Min	250	
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C	Min	90	

Sumber : Spesifikasi Umum 2018

b. Gradasi Agregat Gabungan Campuran

Persyaratan gradasi agregat gabungan campuran Lataston Lapis Aus (*Hot Rolled Sheet-Wearing Course*) umumnya harus berada dalam batas spesifikasi yang disyaratkan, seperti pada tabel 2.7 berikut :

Tabel 2.7 Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal

Ukuran Saringan		<i>Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)</i>
(mm)	(Inci)	
37,5	1,5	-
25	1	-
12,5	1/2	90-100
9,5	3/8	75-85
2,36	No. 8	50-72

Tabel 2.7 (Lanjutan)

0,6	No. 30	35-60
0,075	No. 200	6-10

Sumber : Spesifikasi Umum 2018

2.9 Pengujian Marshall

Pengujian Marshall dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran aspal dan agregat. Kelelahan plastis adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0,01 inci. Nilai stabilitas dan nilai *flow* minimal sebesar 800 kg. Untuk aspal modifikasi nilai stabilitas dan nilai *flow* minimal sebesar 1000 kg (Spesifikasi Bina Marga, 2010). Pengujian marshall dilakukan setelah benda uji direndam didalam *water bath* terlebih dahulu.

Aspal beton dibentuk dari agregat, aspal dan atau tanpa bahan tambahan yang dicampur secara merata pada suhu tertentu. Campuran kemudian dihamparkan dan dipadatkan, sehingga terbentuk beton aspal padat. Sifat-sifat campuran beton aspal dapat dilihat dari parameter-parameter pengujian Marshall antara lain :

1. Stabilitas Marshall

Stabilitas adalah beban yang dapat ditahan campuran beton aspal sampai terjadi kelelahan plastis atau dengan arti lain yaitu kemampuan lapis keras untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya tanpa mengalami perubahan bentuk tetap seperti gelombang (*wash boarding*) dan alur (*rutting*). Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Stabilitas merupakan parameter yang menunjukkan batas maksimum beban yang dapat diterima oleh suatu campuran beraspal saat

terjadi keruntuhan yang dinyatakan dalam kilogram. Nilai stabilitas yang terlalu tinggi akan menghasilkan perkerasan yang terlalu kaku sehingga tingkat keawetannya berkurang.

2. Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan adalah besarnya penurunan atau deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterima. Deformasi yang terjadi erat kaitannya dengan sifat-sifat Marshall yang lain seperti stabilitas, *VIM* dan *VFA*, Nilai *VIM* yang besar menyebabkan berkurangnya *interlocking resistance* campuran dan dapat berakibat timbulnya deformasi. Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas, nilai *flow* merupakan nilai dari masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Hanya saja jarum dial *flow* biasanya dalam satuan mm (millimeter). Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal, viskositas aspal, gradasi agregat, jumlah dan temperatur pemadatan.

3. Kepadatan (*Density*)

Kepadatan merupakan tingkat kerapatan campuran setelah campuran dipadatkan. Semakin tinggi nilai *density* suatu campuran menunjukkan bahwa kerapatannya semakin baik. Campuran dengan nilai *density* yang tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar dibanding dengan campuran yang dimiliki nilai *density* yang rendah, karena butiran agregat mempunyai bidang kotak yang luas sehingga gaya gesek (*friction*) antara butiran agregat menjadi besar. Nilai kepadatan/*density* dihitung dengan rumus berikut :

$$g = c / f \dots\dots\dots (2.2)$$

$$f = d - e \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

g = Nilai kepadatan (gr/cc)

c = Berat kering / sebelum direndam (gr)

d = Berat benda uji jenuh air (gr)

e = Berat benda uji dalam air (gr)

f = Volume benda uji (cc)

4. Rongga Udara (*Void In Mixture*)

Rongga Udara adalah rongga yang masih tersisa setelah campuran aspal beton dipadatkan. *VIM* ini dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat jika aspal meleleh menjadi lunak akibat naiknya suhu udara. *VIM* yang semakin tinggi akan menyebabkan kelelahan yang semakin cepat, berupa alur dan retak. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi. Rongga udara dalam campuran (V_a) atau *VIM* dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$$VIM = \left(100 \times \frac{G_{mm} - G}{G_{mm}} \right) \% \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

VIM = Rongga udara dalam campuran padat, persen dari total volume.

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran.

G_m = Berat jenis curah campuran padat.

5. Hasil Bagi Marshall (*Marshall Quotient*)

Hasil bagi Marshall merupakan hasil bagi stabilitas dengan keelehan. Semakin tinggi nilai MQ , maka kemungkinan akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan sedangkan nilai MQ yang terlalu rendah dapat berakibat alur dan *bleeding*. Semakin besar nilai MQ berarti campuran aspal semakin kaku dan kurang lentur sehingga mudah retak sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur dan plastis sehingga mudah mengalami perubahan bentuk saat menerima beban lalu lintas yang tinggi.

$$\text{Marshall Quotient} = \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}} \dots\dots\dots (2.5)$$

6. Rongga Antar Agregat (*Void in Mineral Agregat*)

Rongga antar agregat adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Kuantitas terhadap rongga udara berpengaruh terhadap kinerja suatu campuran karena jika VMA terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas, dan jika VMA terlalu besar maka campuran bisa memperlihatkan masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi. Jika komposisi campuran ditentukan sebagai persen berat dari campuran total, maka VMA dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$VMA = (100 \times \frac{G_{mb}}{G_{sb}}) \% \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

VMA = Rongga dalam agregat mineral (persen volume curah)

G_{sb} = Berat jenis curah agregat

P_s = Agregat, persen berat total campuran

Gmb = Berat jenis curah campuran padat

7. Rongga Terisi Aspal (*Void Filled With Asphalt*)

Rongga Terisi Aspal merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Nilai *VFA* dipengaruhi oleh faktor pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai *VFA* berpengaruh pada sifat kedekatan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastisitas campuran. Dengan kata lain *VFA* menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Semakin tinggi nilai *VFA* berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran terhadap air dan udara juga akan semakin tinggi, tetapi nilai *VFA* yang terlalu tinggi akan menyebabkan *bleeding*. Nilai *VFA* yang terlalu kecil akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara karena lapisan film aspal akan menjadi tipis dan akan mudah retak bila menerima penambahan beban sehingga campuran aspal mudah teroksidasi yang akhirnya menyebabkan lapis perkerasan tidak tahan lama. Nilai *VFA* dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$VFA = \left(\frac{100 (VMA - VIM)}{VMA} \right) \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

VFA = Volume rongga antar butir agregat yang terisi aspal % dari *VMA*

VMA = Rongga dalam agregat mineral (persen volume curah)

VIM = Rongga udara dalam campuran padat, persen dari total volume

8. Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Indeks kekuatan sisa dianalisis dari data-data hasil pengujian terhadap sifat-sifat mekanik benda uji (*stabilitas* dan *flow*) dibagi dalam dua kelompok. Kelompok pertama diuji stabilitas Marshallnya dengan perendaman dalam air pada suhu 60°C

selama waktu T1 dan kelompok kedua di uji setelah perendamannya pada suhu 60°C selama T2 (Hunter, 2005). Kemudian ditentukan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) Marshallnya dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Hunter, 2005) :

$$\text{IKS} = \frac{S_2}{S_1} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

S1 = Nilai rata-rata stabilitas Marshall setelah perendaman selama T1 menit

S2 = Nilai rata-rata stabilitas Marshall setelah perendaman selama T2 menit

IKS = Indeks Kekuatan Sisa (%)

9. Berat jenis maksimum aspal beton yang belum didapatkan (*Gmm*)

Berat jenis maksimum dari campuran aspal beton yang belum didapatkan (*Gmm*) adalah berat jenis campuran aspal beton tanpa pori/udara, yang diperoleh dari pemeriksaan di laboratorium.

$$Gmm = 100 : \frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_a}{G_a} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

P_s = Kadar agregat, % terhadap berat aspal beton padat

P_a = Kadar aspal terhadap berat aspal beton padat %

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

G_a = Berat jenis aspal

10. Berat jenis bulk aspal beton padat (*Gmb*)

Berat jenis bulk dari aspal beton padat (*Gmb*) dapat diukur dengan mempergunakan :

$$Gmb = \frac{B_k}{B_{ssd} - B_a} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

- Gmb = Berat jenis bulk dari aspal beton padat
Bk = Berat kering aspal beton
Bssd = Berat kering permukaan dari aspal beton yang telah didapatkan,
Ba = Berat aspal beton padat di dalam air

2.10 Kajian terhadap Penelitian Terdahulu

Sebelum Analisa “Karakteristik Marshall pada campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* Dengan Menggunakan Bahan Tambah Plastik Bekas *High Density Polyethylene (HDPE)*” dilakukan, sebenarnya telah ada beberapa penelitian terdahulu yang cukup erat kaitannya dengan penelitian ini.

Penelitian-penelitian tersebut diantaranya adalah sebagai berikut :

Yance (2017) dalam penelitian Tugas Akhir berjudul “kajian Laboratorium *Open Graded Asphalt (OGA)* menggunakan agregat Hampangen dan bahan tambah *High Density Polyet hylene (HDPE)* dan suhu rendaman ditingkatkan”. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya, dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar kadar aspal optimum, bahan tambah optimum, suhu optimum dan nilai karakteristik Marshall dengan menggunakan agregat Hampangen dan *High Density Polyethylene (HDPE)* sebagai bahan tambah. Metode yang digunakan dalam penelitian ini berupa pengujian Laboratorium, melalui pengujian Marshall tahap 1, tahap 2 dan tahap 3. Pengujian tahap 1 ditujukan untuk mendapatkan kadar aspal optimum (KAO) dari komposisi yang direncanakan dengan variasi kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%. Pengujian

tahap 2 dilakukan menggunakan komposisi KAO yang diperoleh dari tahap 1 terhadap variasi bahan tambah 2%, 4%, 6% dan 8%. Pengujian tahap 3 dilakukan menggunakan komposisi KAO, bahan tambah optimum dan menggunakan variasi suhu rendaman 60°C, 65°C, 70°C dan 75°C. berdasarkan hasil penelitian material yang digunakan, didapat komposisi agregat campuran dengan proporsi batu pecah 1-2 sebesar 40%, batu pecah ½-1 sebesar 60%. Dari pengujian marshall 1 diperoleh nilai kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,41%. Pengujian Marshall 2 diperoleh nilai bahan tambah optimum 1,67%. Pengujian Marshall 3 diperoleh suhu optimum 62,5°C dimana hasil nilai karakteristik Marshall masih memenuhi persyaratan AAPA

Wijaya (2018) dalam penelitian Tugas Akhir Berjudul “Pengaruh Bahan Tambah Polimer *High Density Polyethylene (HDPE)* Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal (*AC-WC*)” Kerusakan dan penurunan kekuatan perkerasan lentur jalan dapat disebabkan oleh rendahnya kekuatan dan keawetan di dalam lapisan aus dan bahan ikat konstruksi perkerasan jalan. Untuk menanggulangi hal ini maka dibutuhkan suatu bahan tambah yang dapat meningkatkan kinerja aspal. Salah satu cara dalam meningkatkan kinerja aspal adalah dengan memodifikasi aspal menggunakan bahan tambah yaitu polimer. Polimer yang digunakan dalam penelitian ini yaitu berupa limbah botol plastik jenis *High Density Polyethylene (HDPE)* sebagai pensubstitusi aspal. Limbah botol plastik di Indonesia banyak dihasilkan setiap tahunnya namun sedikit yang dapat memanfaatkannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik marshall pada campuran aspal (*AC-WC*) dengan bahan atau tanpa tambah potongan botol plastik *HDPE* 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% pada aspal penetrasi 60/70. Metode

yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan cara kering dimana agregat dipanaskan terlebih dahulu pada temperatur campuran dan diaduk selama 30-45 detik, dengan botol plastik sebelumnya sudah dipotong-potong terlebih dahulu secara acak atau tidak seragam lalu diayak lolos saringan No. 4. Selanjutnya dilakukan pengujian karakteristik marshall. Hasil penelitian menunjukkan nilai kadar aspal optimum (KAO) yang memenuhi syarat kriteria campuran aspal sesuai (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018) yaitu 6,0%. Setelah itu dilanjutkan dengan proses variasi penambahan polimer *High Density Polyethylene (HDPE)* dengan kadar 1%, 2%, 3%, 4% dihitung dari berat aspal. Dari proses pengujian didapatkan hasil semakin meningkatnya kadar *High Density Polyethylene (HDPE)* nilai stabilitas yang dihasilkan tidak stabil atau naik turun, dan nilai karakteristik marshall perencanaan perkerasan Laston *AC-WC* rata-rata tidak memenuhi spesifikasi atau hasil yang lebih baik menggunakan aspal konvensional. Sehingga penggunaan polimer *High Density Polyethylene (HDPE)* tidak dapat menaikkan kinerja aspal.

Yusrizal Yahya (2018) dalam penelitian Tugas Akhir berjudul “Analisis Karakteristik Marshall Campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* Menggunakan Bahan Tambah Plastik Bekas Jenis *Polyethylene Terephthalate (PET)*” Penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan limbah plastik dengan menggunakannya sebagai bahan tambah pada campuran aspal panas lapis aus (*HRS-WC*). Mencampur sampah plastik ke dalam konstruksi jalan raya mempunyai dua tujuan, yaitu mengurangi sampah plastik dan meningkatkan kualitas jalan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik parameter Marshall akibat penambahan *PET (Polyethylene Terephthalate)* pada campuran aspal panas

lapis aus (HRS-WC) menggunakan metode Marshall dan mengacu kepada (Spesifikasi Bina Marga, 2010). Penelitian ini dilakukan dengan menambahkan potongan *PET* pada campuran aspal menggunakan cara kering. Sebelum menambahkan *PET* pada campuran aspal, terlebih dahulu membuat benda uji dari gradasi batas tengah dan gradasi batas atas. Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang diperoleh pada kedua kelompok benda uji yaitu sebesar 7,30 %. Selanjutnya dilakukan penambahan *PET* pada campuran aspal pada nilai KAO tersebut. Kadar *PET* yang ditambahkan pada campuran yaitu 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% dari berat aspal. Berdasarkan hasil penelitian terhadap parameter karakteristik Marshall dengan variasi kadar bahan tambah plastik bekas *PET*. Didapatkan kadar penambahan plastik optimum sebesar 7,80%. Nilai parameter karakteristik Marshall pada Kadar Aspal Optimum (KAO) dan penambahan kadar plastik optimum menghasilkan stabilitas sebesar 1010 kg, *flow* sebesar 3,40 mm, rongga dalam campuran (VIM) sebesar 4,20%, rongga terisi aspal (VFB) sebesar 80,50% dan hasil bagi Marshall (MQ) sebesar 297,50 kg. Karena selain nilai stabilitasnya tinggi, Parameter Marshall seperti *VIM*, *VFA*, *VMA*, *MQ* dan *Flow* juga telah memenuhi syarat Spesifikasi Bina Marga 2010.

2.8 Daftar Hasil Penelitian Terkait

No	Judul Penelitian	Peneliti	Tujuan	Teknik Analisis	Hasil Penelitian
1.	kajian Laboratorium <i>Open Graded Asphalt (OGA)</i> menggunakan agregat Hampangan dan bahan tambah <i>High Density Polyethylene (HDPE)</i> dan suhu rendaman ditingkatkan	Yance (Skripsi Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya)	untuk mengetahui seberapa besar kadar aspal optimum, bahan tambah optimum, suhu optimum dan nilai karakteristik Marshall dengan menggunakan agregat Hampangan dan <i>High Density Polyethylene (HDPE)</i> sebagai bahan tambah	pengujian Laboratorium	Pengujian tahap 1 ditujukan untuk mendapatkan kadar aspal optimum (KAO) dari komposisi yang direncanakan dengan variasi kadar aspal 4,5%, 5 Dari pengujian marshall 1 diperoleh nilai kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,41%. Pengujian Marshall 2 diperoleh nilai bahan tambah optimum 1,67%. Pengujian Marshall 3 diperoleh suhu optimum 62,5°C dimana hasil nilai karakteristik Marshall masih memenuhi persyaratan AAPA
2.	Pengaruh Bahan Tambah Polimer <i>High Density Polyethylene (HDPE)</i> Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal (<i>AC-WC</i>)	Wijaya (Skripsi Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya)	bertujuan untuk mengetahui karakteristik marshall pada campuran aspal (<i>AC-WC</i>) dengan bahan atau tanpa tambah potongan botol plastik <i>HDPE</i> 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% pada aspal penetrasi 60/70	pengujian Laboratorium	Hasil penelitian menunjukkan nilai kadar aspal optimum (KAO) yang memenuhi syarat kriteria campuran aspal sesuai (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018) yaitu 6,0%. Setelah itu dilanjutkan dengan proses variasi penambahan polimer <i>High Density Polyethylene (HDPE)</i> dengan kadar 1%, 2%, 3%, 4% dihitung dari berat aspal. Dari proses pengujian didapatkan hasil semakin meningkatnya kadar <i>High Density Polyethylene (HDPE)</i> nilai stabilitas yang dihasilkan tidak stabil atau naik turun, dan nilai karakteristik marshall perencanaan perkerasan Laston <i>AC-WC</i> rata-rata tidak memenuhi spesifikasi atau hasil yang lebih baik menggunakan aspal konvensional. Sehingga penggunaan polimer <i>High Density Polyethylene (HDPE)</i> tidak dapat menaikkan kinerja aspal.

2.8 (Lanjutan)

No	Judul Penelitian	Peneliti	Tujuan	Teknik Analisis	Hasil Penelitian
3.	Analisis Karakteristik Marshall Campuran <i>Hot Rolled Sheet Wearing Course</i> (HRS-WC) Menggunakan Bahan Tambah Plastik Bekas Jenis <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET)	Yusrizal Yahya (Skripsi Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya)	Penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan limbah plastik dengan menggunakannya sebagai bahan tambah pada campuran aspal panas lapis aus (HRS-WC).	pengujian Laboratorium	Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang diperoleh pada kedua kelompok benda uji yaitu sebesar 7,30 %. Selanjutnya dilakukan penambahan <i>PET</i> pada campuran aspal pada nilai KAO tersebut. Kadar <i>PET</i> yang ditambahkan pada campuran yaitu 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% dari berat aspal. Berdasarkan hasil penelitian terhadap parameter karakteristik Marshall dengan variasi kadar bahan tambah plastik bekas <i>PET</i> . Didapatkan kadar penambahan plastik optimum sebesar 7,80%. Nilai parameter karakteristik Marshall pada Kadar Aspal Optimum (KAO) dan penambahan kadar plastik optimum menghasilkan stabilitas sebesar 1010 kg, <i>flow</i> sebesar 3,40 mm, rongga dalam campuran (VIM) sebesar 4,20%, rongga terisi aspal (VFB) sebesar 80,50% dan hasil bagi Marshall (MQ) sebesar 297,50 kg. Karena selain nilai stabilitasnya tinggi, Parameter Marshall seperti <i>VIM</i> , <i>VFA</i> , <i>VMA</i> , <i>MQ</i> dan <i>Flow</i> juga telah memenuhi syarat Spesifikasi Bina Marga 2010

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Penelitian ini menggunakan metode uji laboratorium, yaitu untuk menganalisis penggunaan plastik bekas sebagai bahan tambah pada aspal dalam lapisan Lataston Lapis Aus (*Hot Rolled Sheet-Wearing Course*). Dalam penelitian di Laboratorium diadakan pengamatan dan pemeriksaan terhadap proporsi perencanaan campuran Lataston Lapis Aus (*Hot Rolled Sheet-Wearing Course*) yang memenuhi spesifikasi. Data yang dihasilkan digunakan untuk perancangan campuran, selanjutnya dibuat benda uji (briket) untuk dilakukan uji Marshall sehingga diketahui karakteristik campuran tersebut. Tahapan penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1

3.2 Pengambilan Material

Pengambilan Material berupa agregat kasar dan abu batu ex. Palu pada *stockfile* yang berada di *Asphalt Mixing Plant (AMP)* PT. Kalindra Utama Jalan Trans Kalimantan Palangka Raya-Kuala Kurun Desa Bahu Palawa Kabupaten Pulang Pisau dan Pengambilan Material agregat halus dari Tangkiling, Kecamatan Bukit Batu bertepatan di Km. 25 Jalan Tjilik Riwut.

3.3 Pengambilan Data Sampel

Pengambilan data dilakukan dengan membuat benda uji (briket) sebanyak 30 buah dalam 2 kali percobaan. Percobaan pertama dibuat 15 benda uji yang terdiri dari 1 macam komposisi terbaik yang mendekati spesifikasi dengan 5 variasi

kadar aspal. Tiap variasi kadar aspal dibuat 3 buah benda uji yang kemudian hasilnya dirata-ratakan untuk kemudian didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO). Percobaan kedua, Kadar Aspal Optimum (KAO) yang didapat pada percobaan pertama digunakan sebagai kadar aspal untuk memuat 15 buah benda uji, yang terdiri dari 5 variasi persentase berat plastik bekas terhadap berat aspal yang diperoleh dari Kadar Aspal Optimum (KAO), yaitu berat plastik sebagai bahan persentase 2%, 4%, 6%, 8% dan 10%. Tiap variasi persentase berat plastik dibuat 3 buah benda uji. Pembuatan dan pengujian benda uji ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

3.4 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

1. Pengambilan Material berupa agregat kasar dan abu batu ex. Palu pada *stockfile* yang berada di *Asphalt Mixing Plant (AMP)* PT. Kalindra Utama Jalan Trans Kalimantan Palangka Raya-Kuala Kurun Desa Bahu Palawa Kabupaten Pulang Pisau dan Pengambilan Material agregat halus dari Tangkiling, Kecamatan Bukit Batu bertepatan di Km. 25 Jalan Tjilik Riwut.
2. Aspal yang digunakan sebagai bahan pengikat dalam penelitian ini adalah aspal keras dengan penetrasi 60/70.
3. Bahan tambah yang digunakan adalah plastik bekas kemasan deterjen, botol shampo dan jerigen pelumas yang termasuk dalam jenis plastik *High Density Polyethylene (HDPE)*.

3.5 Alat-Alat Penelitian

3.5.1 Alat Untuk Mengukur Sifat Fisik Agregat

a. Pemeriksaan Gradasi Agregat

Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan gradasi agregat adalah sebagai berikut :

- 1) Timbangan dengan ketelitian 0,2%, untuk menimbang bahan yang akan diuji.
- 2) Satu set saringan meliputi saringan dengan ukuran 19 mm (3/4"), 12,5 mm (1/2"), 9,5 mm (3/8"), No.8, No.30, No.200.
- 3) Oven, mesin pengguncang saringan, *stopwatch*, talam-talam, kuas, sendok, dan alat-alat lainnya.

b. Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat

1) Berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar adalah sebagai berikut :

- a) Keranjang yang berukuran 3,35 mm atau 2,36 mm (No.6 atau No.8) dengan kapasitas ± 5 Kg, keranjang digunakan untuk meletakkan sampel dan tempat pengayak agregat dari sisa air.
- b) Tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai untuk pemeriksaan, sebagai tempat merendam benda uji.
- c) Timbangan dengan kapasitas 5 kg dan dilengkapi dengan alat penggantung keranjang, untuk menimbang bahan yang akan diuji.
- d) Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu sampai $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$.
- e) Alat pemisah contoh dan saringan No.8.

2) Berat jenis dan penyerapan agregat halus

Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus adalah sebagai berikut :

- a) Timbangan dengan kapasitas 1 kg atau lebih digunakan untuk menimbang bahan, piknometer dengan kapasitas 500 ml digunakan untuk mengukur massa jenis atau densitas fluida. Kerucut terpancung dengan diameter (90 ± 3) mm digunakan untuk mengisi benda uji.
- b) Batang penumbuk yang mempunyai bidang penumbuk rata, berat (340 ± 1) kg dengan diameter permukaan penumbukan (25 ± 3) mm. Berguna untuk memadatkan benda uji yang dimasukkan ke dalam kerucut terpancung.
- c) Saringan No.8, talam, bejana tempat air, oven pengukur suhu, tungku pemanas (*hot plate*), *stopwatch*, dan lap bersih.

c. Pengujian Keausan Agregat Kasar

Peralatan yang digunakan dalam pengujian keausan agregat kasar adalah sebagai berikut :

- 1) Mesin Los Angeles dan bola-bola dengan diameter rata-rata 4,68 cm dan berat masing-masing antara 400 gram sampai dengan 440 gram sebanyak 11 buah. Bertujuan untuk mengetahui angka keausan yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan No.12 terhadap berat semula dalam persen.
- 2) Saringan No.12 dan saringan-saringan lainnya. Berguna untuk menyaring bahan sesuai dengan ketentuan lolos saringan.

- 3) Timbangan dan oven dengan pengaturan suhu. Berguna untuk menimbang bahan dan oven berguna sebagai pengering benda uji sampai suhu yang sudah ditentukan.

d. Pemeriksaan Kadar Lempung pada Agregat Halus

Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan kadar lempung pada agregat halus sebagai berikut :

- 1) Tabung *sand equivalent*, beban equivalen dan larutan standar. Berguna untuk mengetahui kadar lempung yaitu dengan memasukan bahan kedalam tabung *sand equivalent* kemudian dimasukkan larutan standar.
- 2) Talam, saringan No.8, sumbu karet gabus, corong dan *stopwatch*. Talam berfungsi sebagai tempat menaruh sampel, saringan No.8, karet gabus berfungsi sebagai penutup tabung *sand equivalent* ketika dikocok dan *stopwatch* berfungsi sebagai pengukur waktu ketika tabung *sand equivalent* dikocok.

3.5.2 Alat Pembuatan dan Pemeriksaan Benda Uji

a. Pembuatan Benda Uji

Peralatan yang digunakan dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :

- 1) Sejumlah cetakan benda uji berbentuk silinder yang berdiameter 10 cm (4 inci) dan tinggi 7,5 cm (3 inci) lengkap dengan pelat atas dan leher sambung. Berfungsi untuk cetakan benda uji dan pelat alas sebagai alas benda uji.
- 2) Alat pengukur benda

- 3) Penumbuk yang memiliki permukaan tumbuk rata berbentuk silinder dengan berat 4,536 kg dan tinggi jatuh benda 45,7 cm. berfungsi menumbuk benda uji dengan ketinggian yang telah ditentukan.
- 4) Landasan pematat terdiri dari balok kayu yang dilapisi dengan pelat baja.
- 5) Oven dengan pengatur suhu, kompor, timbangan, wajan, talam-talam, sendok pengaduk, *thermometer*, kertas saring dan sarung tangan.

b. Pemeriksaan Benda Uji

Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan benda uji adalah sebagai berikut :

- 1) Timbangan yang dilengkapi dengan keranjang penggantung berkapasitas 5 kg. berguna untuk menimbang benda uji.
- 2) Bak perendam (*water bath*), yang dilengkapi dengan pengatur suhu. Berguna untuk tempat merendam benda uji.
- 3) Alat Marshall yang dilengkapi dengan :
 - a. Kepala penekan (*breaking head*) berbentuk lengkung. Berguna untuk menekan benda uji agar diketahui nilai tekannya.
 - b. Cincin penguji (*proving ring*) berkapasitas 2.500 kg atau 5.000 pound dilengkapi dengan arloji (*dial*) tekan dengan ketelitian 0,0025 mm. digunakan untuk mengukur nilai stabilitas.
 - c. Arloji pengukur kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 beserta kelengkapannya. Berguna untuk mengukur tingkat kelelahan benda uji.

3.6 Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini dimulai selama ± 2 bulan bertempat di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

3.7 Cara Penelitian

3.7.1 Pemeriksaan Sifat-sifat Fisik Agregat

Pemeriksaan sifat-sifat fisik agregat halus dilakukan pada suatu perencanaan campuran yang akan dipergunakan pada lapisan perkerasan. Agregat dapat digunakan untuk bahan perkerasan, apabila telah melalui pemeriksaan dan memenuhi persyaratan spesifikasi yang telah ditetapkan.

Pemeriksaan terhadap agregat tersebut dilakukan untuk memperoleh data yang akan digunakan pada perencanaan campuran, data yang diperlukan dalam perencanaan campuran meliputi : data gradasi agregat, berat jenis dan penyerapan agregat, keausan agregat dan kadar lempung yang terkandung dalam agregat.

3.7.2 Pemeriksaan Gradasi Agregat

Pada metode pemeriksaan gradasi agregat kasar maupun halus menggunakan standar pemeriksaan yaitu SNI 03-1968-1190. Peralatan yang digunakan adalah : timbangan, satu set saringan, oven, alat pemisah contoh, mesin pengguncang saringan, stopwatch, talam, kuas sikat, sendok dan lain-lain.

Adapun langkah-langkah pemeriksaan gradasi agregat adalah sebagai berikut :

- a. Sampel dikeringkan dalam oven dengan suhu 110°C sampai berat tetap.

- b. Sampel ditimbang sesuai kebutuhan (masing-masing 1 kg untuk agregat kasar dan halus).
- c. Sampel dicuci sampai bersih, kemudian air dibuang secara hati-hati diatas saringan No. 200, agregat yang tertahan pada saringan dikembalikan pada wadah pencucian.
- d. Sampel dikeringkan sampai berat tetap dalam oven dengan suhu 110°C.
- e. Saring sampel lewat satu set saringan. Saringan dengan nomor saringan paling besar ditempatkan paling atas. Saringan diguncang dengan mesin pengguncang saringan selama 15 menit.
- f. Sampel yang tertahan pada setiap nomor saringan masing-masing ditimbang dan selanjutnya dilakukan perhitungan persentase berat sampel pada masing-masing saringan terhadap berat total sampel setelah disaring.

3.7.3 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Dalam pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat dibagi atas :

- a. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Pada metode pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar menggunakan standar pemeriksaan yaitu SNI 03-1969-1190. Pemeriksaan ini dilakukan dengan maksud untuk menentukan berat jenis kering oven (*bulk*), berat jenis kering dipermukaan jenuh atau *saturated surface dry (SSD)*, berat jenis semu (*apparent*) dan penyerapan agregat kasar. Sampel yang digunakan dalam pemeriksaan ini adalah agregat yang lolos saringan ukuran 1 inchi dan tertahan saringan No. 8.

Adapun prosedur pelaksanaan dan pemeriksaan ini adalah sebagai berikut :

- 1) Timbang sampel kering oven seberat 5 kg.
- 2) Cuci sampel sampai bersih dengan hati-hati supaya tidak ada yang terbuang.
- 3) Keringkan sampel dalam oven dengan suhu $\pm 110^{\circ}\text{C}$ selama ± 24 jam.
- 4) Keluarkan sampel dan dinginkan selama 1-3 jam pada suhu ruangan, kemudian timbang dan catat beratnya sebagai (Bk).
- 5) Rendam sampel dalam air selama ± 24 jam.
- 6) Keluarkan sampel dari dalam air, kemudian keringkan sampel sampai kering permukaan jenuh.
- 7) Timbang sampel kering permukaan jenuh dan catat beratnya sebagai (Bj).
- 8) Timbang sampel dalam air dan catat beratnya sebagai (Ba).

Perhitungan berat jenis dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$\text{Bj. Kering Oven (Bulk)} = \frac{Bk}{Bj - Ba} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$\text{Bj. Kering Permukaan (SSD)} = \frac{Bj}{Bj - Ba} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$\text{Bj. Semu (Apparent)} = \frac{Bk}{Bk - B} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$\text{Penyerapan agregat} = \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\% \dots\dots\dots (3.4)$$

b. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat

Pada metode pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar menggunakan standar pemeriksaan yaitu SNI 03-1970-1190. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis kering oven (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh atau *saturated surface dry (SSD)*, berat jenis semua (*apparent*)

dan penyerapan air agregat halus. Sampel yang digunakan dalam pemeriksaan ini adalah agregat yang lolos saringan No.8.

Adapun prosedur pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut :

- 1) Timbang sampel kering oven sebanyak 1 kg.
- 2) Rendam sampel dalam air selama 24 jam.
- 3) Buang air perendam dengan hati-hati supaya butiran tidak ada yang hilang.
- 4) Hamparkan sampel di atas talam, keringkan di udara panas dengan cara membolak-balik sampel. Lakukan pengeringan sampai terjadi keadaan kering permukaan jenuh.
- 5) Periksa sampel pada keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisikan sampel ke dalam kerucut terpancung dalam tiga lapis dan padatkan 25 tumbukan.
- 6) Angka kerucut terpancung, keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila sampel mengalami keruntuhan akan tetapi masih dalam keadaan tercetak.
- 7) Timbang sampel seberat 500 gram dan masukan ke dalam piknometer.
- 8) Isi piknometer dengan air suling sampai sampel terendam seluruhnya.
- 9) Letakkan piknometer di atas pelat pemanas (*hot plate*) kemudian didihkan selama 10 menit untuk mengeluarkan udara yang terserap di dalam sampel.
- 10) Dinginkan piknometer yang berisi sampel dan rendam piknometer dalam air dengan suhu 25°C sampai suhu dalam piknometer menunjukkan 25°C .

- 11) Tambahkan air suling sampai tanda batas kalibrasi dan keringkan bagian luar piknometer dengan lap bersih, kemudian timbang piknometer yang berisi sampel dan air suling (Bt).
- 12) Keluarkan sampel dan keringkan dalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam.
- 13) Keluarkan sampel dalam oven, dinginkan kemudian timbang (Bk).
- 14) Isi piknometer dengan air suling sampai batas kalibrasi dan timbang (B).

Perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat halus dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut :

$$\text{Bj. Kering Oven (bulk)} = \frac{Bk}{B+500-Bt} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$\text{Bj. Kering Permukaan (SSD)} = \frac{500}{B+500-Bt} \dots\dots\dots (3.6)$$

$$\text{Bj. Semu (apparent)} = \frac{Bk}{B+Bk} \dots\dots\dots (3.7)$$

$$\text{Penyerapan Agregat} = \frac{500-B}{Bk} \times 100\% \dots\dots\dots (3.8)$$

3.7.4 Pengujian Keausan Agregat Kasar

Pada metode pengujian keausan agregat kasar menggunakan standar pengujian yaitu SNI 03-2417-1991.

Adapun prosedur pelaksanaan pengujian keausan agregat kasar adalah sebagai berikut :

- a. Timbang sampel secukupnya kemudian dicuci sampai bersih.
- b. Keringkan dalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam.

- c. Timbang sampel sesuai gradasi atau spesifikasi yang digunakan.
- d. Masukkan sampel ke dalam mesin *Los Angeles*.
- e. Masukkan bola-bola baja sesuai dengan spesifikasi yang digunakan.
- f. Putar mesin Los Angeles dengan jumlah putaran 500 kali.
- g. Keluarkan sampel dengan molen, kemudian saring dengan saringan No. 12.
- h. Material yang lolos saringan No. 12 dibuang, sedangkan material yang tertahan saringan No. 12 langsung dicuci sampai bersih, kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam.
- i. Keluarkan sampel dari dalam oven dan dinginkan pada suhu ruang, kemudian ditimbang.

Dari hasil percobaan ini, nilai keausan agregat kasar dapat ditentukan

dengan menggunakan rumus :

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{A} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.9)$$

Keterangan :

a = berat total sampel semula (5000 gram)

b = berat sampel yang tertahan saringan No. 12

3.7.5 Pemeriksaan Kadar Lempung Agregat Halus

Pemeriksaan yang dilakukan untuk menentukan kadar lempung yang dikandung oleh agregat yang lolos saringan No. 8, sesuai dengan prosedur AASHTO T.176-73 (1982), dengan menggunakan tabung *sand equivalent*.

Adapun prosedur pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut :

- a. Ambil sampel (pasir) sebanyak 85 ml kemudian keringkan di dalam oven dengan suhu 110°C dan dinginkan pada suhu ruang.
- b. Isi tabung *sand equivalent* dengan larutan standar setinggi 5 strip (skala tabung *sand equivalent*), kemudian masukkan sampel ke dalam tabung *sand equivalent*, ketuk-ketuk beberapa saat kemudian diamkan selama 10 menit.
- c. Tutup tabung *sand equivalent* dengan penutup karet atau kayu gabus, kemudian dimiringkan sampai arah hampir mendatar dan kocok sebanyak 90 gerakan sejauh 20 cm pada arah mendatar.
- d. Masukkan lagi larutan standar melalui selang ke dalam tabung sampai setinggi skala 15, kemudian diamkan selama 20 menit.
- e. Baca skala pembacaan lumpur.
- f. Masukan beban *sand equivalent* secara perlahan-lahan sampai beban tersebut berhenti.
- g. Baca skala setelah pembebanan.

Perhitungan untuk nilai *sand equivalent* dapat dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Nilai sand equivalent} = \frac{\text{Skala Pasir}}{\text{Skala Lempung}} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.10)$$

3.8 Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Perencanaan campuran menggunakan Metode Marshall yang bertitik tolak pada stabilitas yang dihasilkan. Oleh karena itu yang menjadi dasar dari perencanaan ini adalah graadasi agregat campuran. Kadar optimum ditentukan dengan melakukan pemeriksaan Marshall di Laboratorium terhadap beberapa benda uji dengan membuat variasi kadar aspal sedangkan proporsi gradasi tetap.

Perencanaan campuran agregat dapat dilakukan dengan menggunakan cara grafik atau analitis. Rumus dasar pencampuran adalah :

$$P = Aa + Bb + Cc + Dd \dots\dots\dots (3.11)$$

Keterangan :

A, B, C, D = Persen material lolos saringan X dari kombinasi A, B, C, D

a, b, c, d = Proporsi Agregat A, B, C, D dalam campuran

$$a + b + c + d = 1$$

Adapun urutan perencanaan campuran pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Penentuan proporsi komposisi campuran terhadap total agregat.
- b. Dari hasil perhitungan proporsi/komposisi campuran, selanjutnya dilakukan dengan variasi kadar aspal (5 variasi kadar aspal) yaitu berdasarkan kadar aspal yang telah ditentukan pada spesifikasi teknis.
- c. Membuat benda uji (briket) untuk setiap campuran (untuk 1 variasi kadar aspal dibuat 3 buah briket) dengan cara dicetak dan ditumbuk dengan alat khusus.
- d. Pemeriksaan benda uji meliputi : keadaan campuran, berat isi campuran, besarnya pori/rongga dalam campuran (*Voids in mixture atau VIM*), besarnya pori/rongga yang terisi aspal (*Voids Filled Bitumen atau VFB*). Kekuatan (*stability*) campuran dan besarnya kelelehan (*flow*).

3.8.1 Penentuan Proporsi Campuran terhadap Total Agregat

Data hasil pemeriksaan gradasi agregat yang dilakukan dengan menggunakan analisa saringan akan digunakan untuk merencanakan komposisi campuran agregat yang memenuhi persyaratan.

Dalam penelitian ini, ada dua cara perhitungan yang digunakan dalam menentukan proporsi/komposisi campuran, yaitu :

- a. Cara Diagonal, yaitu berupa perhitungan secara grafis dengan bantuan diagonal untuk menentukan komposisi campuran.
- b. Cara Coba-coba (*Trial and Error*), yaitu secara analitis dengan cara memperkirakan komposisi campuran yang selanjutnya dihitung kombinasi gradasi dari agregat campuran. Apabila kombinasi gradasi masuk pada spesifikasi yang telah ditentukan, maka komposisi yang dicoba dapat digunakan untuk proporsi/komposisi campuran yang akan diteliti.

Dalam menentukan proporsi/komposisi campuran, perhitungan awal dilakukan dengan menggunakan cara diagonal. Selanjutnya dari hasil komposisi yang didapat tersebut dikontrol kembali dengan menggunakan cara *Trial and Error*. Hal ini dilakukan adalah untuk melihat proporsi/komposisi gradasi gabungan agregat apakah masuk ke dalam spesifikasi yang telah ditetapkan atau tidak.

3.8.2 Pembuatan Benda Uji dengan Bahan Tambah Plastik Jenis *HDPE*

Adapun prosedur pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :

- a. Benda Uji dan Kadar Aspal Awal

Menyiapkan benda uji Marshall pada kadar aspal sebagai berikut :

- 1) Kadar Aspal (Pb) – 1,0 %
- 2) Kadar Aspal (Pb) – 0,5 %
- 3) Kadar Aspal (Pb)
- 4) Kadar Aspal (Pb) + 0,5 %
- 5) Kadar Aspal (Pb) + 1,0 %

Dimana nilai Pb dapat dicari dengan menggunakan rumus 2.1, dan setiap variasi kadar aspal rencana di atas dibuat 3 (tiga) buah benda uji (briket) yang digunakan untuk penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO).

Tabel 3.1 Pembuatan Benda Uji untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar Aspal	Jumlah Benda Uji	Keterangan
Pb – 1,0 (%)	3 buah	Campuran agregat spesifikasi <i>HRS-WC</i> + kadar aspal Pb – 1,0 (%)
Pb – 0,5 (%)	3 buah	Campuran agregat spesifikasi <i>HRS-WC</i> + kadar aspal Pb – 0,5 (%)
Pb (%)	3 buah	Campuran agregat spesifikasi <i>HRS-WC</i> + kadar aspal Pb (%)
Pb + 0,5 (%)	3 buah	Campuran agregat spesifikasi <i>HRS-WC</i> + kadar aspal Pb + 0,5 (%)
Pb + 1,0 (%)	3 buah	Campuran agregat spesifikasi <i>HRS-WC</i> + kadar aspal Pb + 1,0 (%)
Jumlah		15 Buah

- b. Pencampuran bahan dilakukan secara manual dengan diaduk di atas wajan yang dipanaskan. Dilanjutkan proses pemadatan standar terhadap sampel sebanyak 2 x 75 kali tumbukan (satu sisi atas dan satu sisi bawah) dengan suhu pemadatan $(140 \pm 15)^\circ\text{C}$. Benda uji dibuat berbentuk silinder dengan tinggi standar $\pm 6,25$ cm dan diameter $\pm 20,16$ cm. diamkan benda uji selama 24 jam pada suhu ruangan.

- c. Dari pembuatan benda uji dengan kadar aspal awal sesuai perhitungan P_b didapatkan nilai kadar aspal dan nilai *VIM (Void In Mix)*. Setelah itu dilanjutkan dengan uji marshall sehingga didapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO).
- d. Dilanjutkan dengan pembuatan benda uji dengan campuran menggunakan bahan tambah plastik jenis *High Density Polyethylene (HDPE)* dengan variasi persentase 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% terhadap persentase Kadar Aspal Optimum (KAO). *High Density Polyethylene (HDPE)* dipotong menggunakan mesin pencacah dengan ukuran panjang dan lebar kurang dari 1 cm atau 100% lolos saringan 3/8'' atau 90% lolos saringan No. 4, kemudian dicampurkan bersamaan dengan campuran aspal dan agregat yang dipanaskan. Setelah itu dilanjutkan dengan uji marshall kembali menggunakan kadar aspal optimum sebanyak 3 (tiga) buah benda uji (briket) tiap variasi persentase bahan tambahnya.

Tabel 3.2 Jumlah Benda Uji Menggunakan Bahan Tambah Plastik Jenis *High Density Polyethylene (HDPE)*

Persentase Bahan Tambah <i>HDPE</i>	Jumlah Benda Uji	Keterangan
2 %	3 buah	Campuran agregat spesifikasi <i>HRS-WC</i> + kadar aspal optimum + 2 % <i>HDPE</i>
4 %	3 buah	Campuran agregat spesifikasi <i>HRS-WC</i> + kadar aspal optimum + 4 % <i>HDPE</i>
6 %	3 buah	Campuran agregat spesifikasi <i>HRS-WC</i> + kadar aspal optimum + 6 % <i>HDPE</i>
8 %	3 buah	Campuran agregat spesifikasi <i>HRS-WC</i> + kadar aspal optimum + 8 % <i>HDPE</i>
10 %	3 buah	Campuran agregat spesifikasi <i>HRS-WC</i> + kadar aspal optimum + 10 % <i>HDPE</i>
Jumlah		15 Buah

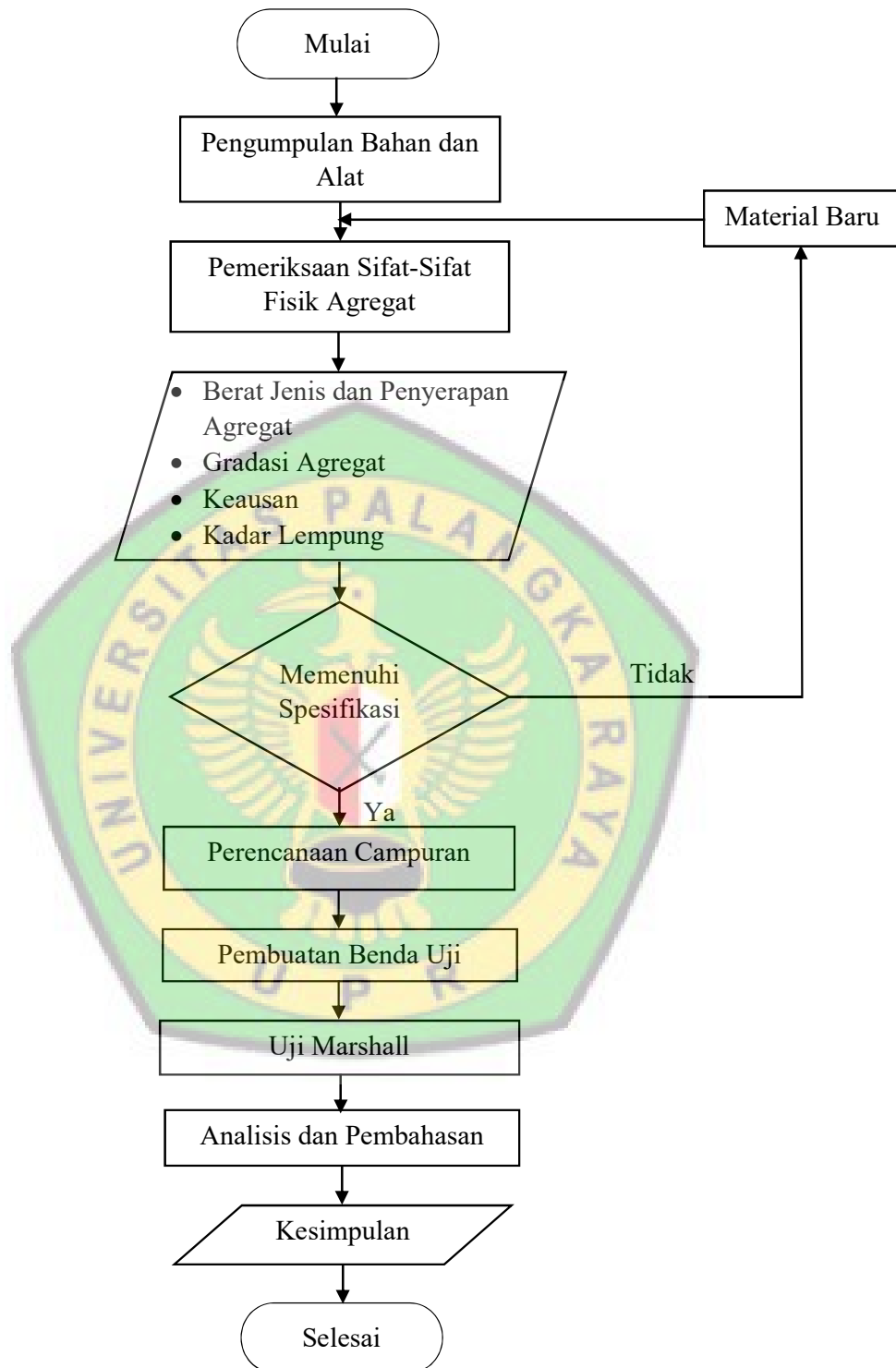
3.8.3 Pemeriksaan Benda Uji (Tes Marshall)

Pemeriksaan benda uji dengan tes Marshall dilakukan untuk mengetahui karakteristik campuran agregat dan variasi kadar aspal.

Adapun urutan pelaksanaan tes marshall adalah sebagai berikut :

- a. Persiapan pengujian
 - 1) Bersihkan benda uji dari kotoran yang menempel.
 - 2) Timbanglah benda uji yang sebelumnya dibiarkan selama 24 jam untuk mendapatkan berat kering di udara.
 - 3) Rendam benda uji dalam air pada suhu ruang selama 24 jam.
 - 4) Setelah direndam selama 24 jam, timbanglah benda uji tersebut untuk mendapatkan berat dalam air.
 - 5) Selanjutnya benda uji diangkat dan dilap, kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat dalam keadaan kering permukaan jenuh.
- b. Pelaksanaan Pengujian
 - 1) Benda uji direndam dalam bak perendaman (*water bath*) dengan suhu tetap 60°C selama 30-40 menit.
 - 2) Sebelum pengujian, batang penuntun dan permukaan dalam dari kepala penekan diberi pelumas sehingga kepala penekan dapat meluncur bebas dan mempermudah pelepasan benda uji.
 - 3) Keluarkan benda uji dari bak perendam dan segera letakkan ke dalam segmen bawah kepala penekan. Perlu diketahui bahwa waktu yang diperlukan dari saat diangkat benda uji sampai tercapai beban maksimum tidak boleh melebihi 30 menit.

- 4) Pasang segmen atas di atas benda uji dan letakkan keseluruhannya dalam mesin penguji.
- 5) Pasang arloji pengukur kelelahan (*flow*) pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan.
- 6) Naikan kepala penekan beserta benda uji hingga menyentuh alas cincin penguji, sebelum pembebanan maksimum tercapai.
- 7) Berikan pembebanan kepada benda uji dengan kecepatan 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai.
- 8) Catat angka pembacaan pembebanan maksimum atau stabilitas yang dicapai dan angka pembacaan kelelahan (*flow*) pada saat pembebanan maksimum tercapai.
- 9) Setelah selesai, benda uji dikeluarkan dari alas Marshall.
- 10) Selanjutnya nilai pembacaan stabilitas (*stability*) dan kelelahan (*flow*) digunakan dalam perhitungan yang dilakukan dalam tabel perhitungan tes Marshall.



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pelaksanaan Pengujian di Laboratorium

Pada Penelitian uji sifat-sifat campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik dan Laboratorium Beton Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya.

Penelitian yang dilakukan meliputi pengujian terhadap sifat-sifat fisik agregat dan pengujian terhadap sifat karakteristik Marshall pada campuran aspal menggunakan alat uji Marshall.

4.1.1 Pengujian Sifat-sifat Fisik Agregat

Pengujian sifat-sifat fisik agregat terbagi menjadi pengujian gradasi agregat, pengujian berat jenis dan penyerapan agregat, pengujian keausan (abrasi) agregat kasar dan pengujian kadar lempung agregat halus (*sand equivalent*).

Pemeriksaan gradasi agregat kasar, abu batu dan pasir dilakukan dengan uji analisa saringan yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.1. Secara lengkap hasil pemeriksaan tersebut dimuat pada Lampiran 1 sampai Lampiran 6.

Tabel 4.1 Hasil Analisa Saringan Masing-masing Agregat

No. Saringan		Persentase Lolos Saringan (%)		
		Eks. Palu		Eks. Tangkiling
Inch	mm	Agregat Kasar (CA)	Abu Batu (FA)	Pasir (SA)
#3/4	19	100,00	100,00	100,00
#1/2	12,7	77,87	100,00	100,00
#3/8	9,5	31,73	100,00	100,00
No.8	2,36	4,63	85,27	94,14
No.30	0,60	1,97	57,05	56,67
No.200	0,075	0,73	13,73	11,05

Sumber: Hasil Pemeriksaan (2020)

Pemeriksaan sifat-sifat fisik agregat yang berupa pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan agregat halus, pemeriksaan keausan (Abrasi) agregat kasar dan pemeriksaan kadar lempung (*sand equivalent*) dapat dilihat pada Tabel 4.2 dibawah ini. Secara lengkap hasil pemeriksaan sifat-sifat fisik tersebut dimuat pada Lampiran 7 sampai dengan Lampiran 11.

Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Masing-masing Agregat

Pemeriksaan	Eks. Palu		Pasir Tangkiling
	Agregat Kasar	Abu Batu	
Berat Jenis (gram/cm ³)	2,660	2,525	2,528
Berat Jenis Kering Permukaan / SSD (gram/cm ³)	2,696	2,576	2,579
Berat Jenis Semu (gram/cm ³)	2,760	2,661	2,664
Penyerapan (%)	1,365	2,044	2,022
Keausan / Abrasi (%)	23,81	-	-
Sand Equivalent (%)	-	-	65,89

Sumber: Hasil Pemeriksaan (2020)

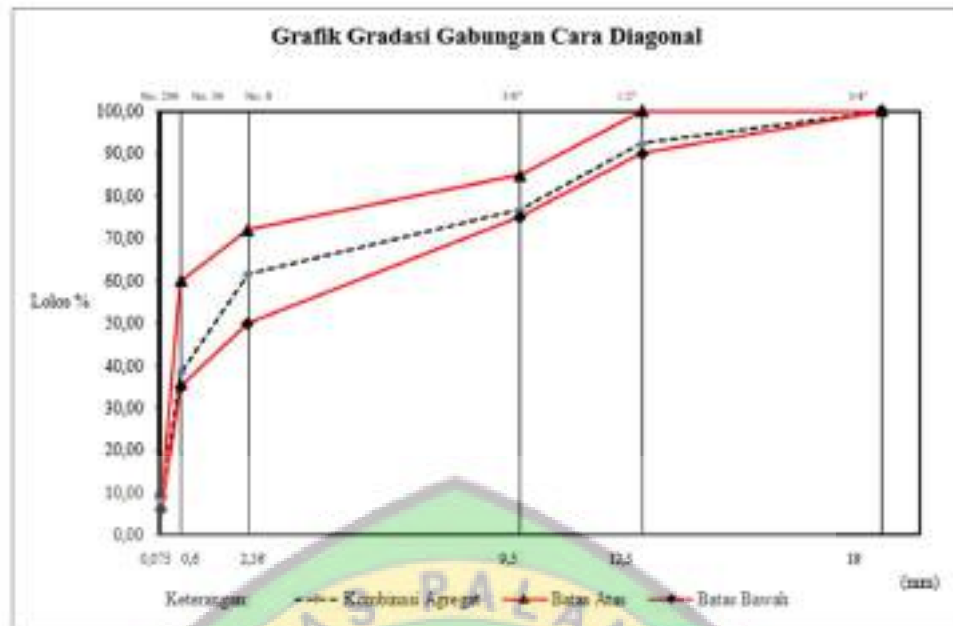
4.1.2 Perencanaan Campuran

Perencanaan campuran menggunakan metode *Asphalt Institute* dan perhitungan penggabungan agregat menggunakan cara diagonal. Grafik metode diagonal dapat dilihat pada Lampiran 12 dan hasil perhitungan pada komposisi ini dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Gradasi Gabungan Cara Diagonal

No. Saringan	Agregat Kasar (CA)		Abu Batu (FA)		Pasir (SA)		Total Kombinasi	Spesifikasi	
	inch	mm	100%	34%	100%	25%			100%
#3/4	19,0	100,00	34,00	100,00	25,00	100,00	41,00	100,00	100
#1/2	12,7	77,87	26,47	100,00	25,00	100,00	41,00	92,47	90-100
#3/8	9,5	31,73	10,79	100,00	25,00	100,00	41,00	76,79	75-85
No.8	2,36	4,63	1,57	85,27	21,32	94,14	38,60	61,49	50-72
No.30	0,600	1,97	0,67	57,05	14,26	56,67	23,24	38,17	35-60
No.200	0,075	0,73	0,25	13,73	3,43	11,05	4,53	8,21	6-10

Sumber: Hasil Perhitungan (2020)



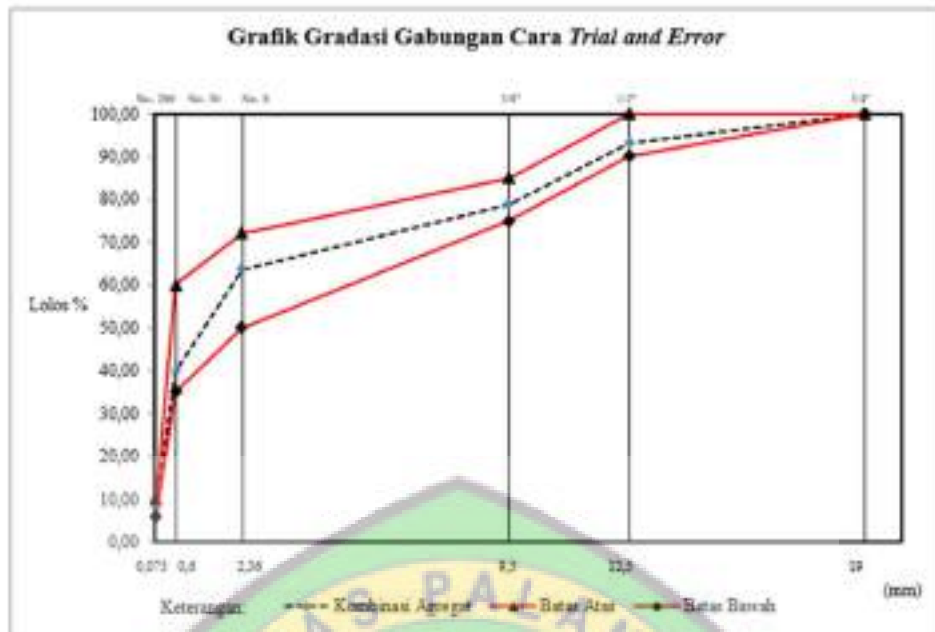
Gambar 4.1 Grafik Gradasi Gabungan Cara Diagonal

Selanjutnya hasil perhitungan komposisi gradasi agregat gabungan dengan cara diagonal yang sudah diperoleh dikontrol menggunakan cara coba-coba (*Trial and Error*). Hasil perhitungan untuk proporsi campuran cara coba-coba (*Trial and Error*) dapat dilihat pada Tabel 4.4 dibawah ini, dan untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 14.

Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Gradasi Gabungan Cara *Trial and Error*

No. Saringan		Agregat Kasar (CA)		Abu Batu (FA)		Pasir (SA)		Total Kombinasi	Spesifikasi
Inch	Mm	100%	31%	100%	31%	100%	38%		
#3/4	19,0	100,00	31,00	100,00	31,00	100,00	38,00	100,00	100
#1/2	12,7	77,87	24,14	100,00	31,00	100,00	38,00	93,14	90-100
#3/8	9,5	31,73	9,84	100,00	31,00	100,00	38,00	78,84	75-85
No.8	2,36	4,63	1,44	85,27	26,43	94,14	35,77	63,64	50-72
No.30	0,600	1,97	0,61	57,05	17,69	56,67	21,54	39,83	35-60
No.200	0,075	0,73	0,23	13,73	4,26	11,05	4,20	8,68	6-10

Sumber: Hasil Perhitungan (2020)



Gambar 4.2 Grafik Gradasi Gabungan Cara Trial and Error

Hasil perhitungan komposisi campuran berdasarkan cara diagonal dan cara coba-coba (*Trial and Error*) memenuhi persyaratan gradasi gabungan untuk komposisi campuran Lataston Lapis Aus (*HRS-WC*) yang direncanakan. Komposisi campuran yang akan digunakan sebagai komposisi untuk pembuatan benda uji adalah hasil perhitungan dari cara coba-coba (*Trial and Error*) karena nilai total kombinasi cara tersebut lebih mendekati nilai *ideal spec*.

Dari hasil perhitungan komposisi campuran yang sudah didapat, nilai total kombinasi dapat digunakan untuk menentukan perkiraan kadar aspal awal. Perkiraan kadar aspal awal diperoleh dari rumus berikut, yaitu:

$$P_b = 0,035 (\% \text{ CA}) + 0,045 (\% \text{ FA}) + 0,18 (\% \text{ Filler}) + \text{Konstanta}$$

Keterangan: P_b = Kadar aspal
 CA = Agregat kasar (*Coarse Aggregate*)
 FA = Agregat halus (*Fine Aggregate*)
 $Filler$ = Agregat halus lolos saringan No. 200

$$\text{Konstanta} = 2,0 - 3,0 \text{ (diambil nilai konstanta} = 2,0)$$

Hasil perhitungan cara *Trial and Error* dapat dilihat pada Tabel 4.4 diperoleh agregat yang lolos saringan No. 8 sebesar 63,64%. Untuk nilai CA adalah agregat kasar yang tertahan saringan No. 8,

$$\text{maka nilai CA} = 100\% - 63,64\% = 36,36\%$$

Sedangkan untuk nilai FA adalah agregat halus lolos saringan No. 8 dan tertahan saringan No. 200. Maka nilai FA = 100% - (%CA + % *Filler*)

$$= 100\% - (36,36\% + 8,68\%)$$

$$= 54,96\%$$

Nilai *Filler* adalah agregat halus lolos saringan No. 200. Dari hasil kombinasi diperoleh agregat yang lolos saringan No. 200 sebesar 8,68%. Maka nilai *Filler* = 8,68%

Dengan nilai: CA = 36,36%

FA = 54,96%

Filler = 8,68%

$$\text{Pb} = 0,035 (\% \text{ CA}) + 0,045 (\% \text{ FA}) + 0,18 (\% \text{Filler}) + \text{Konstanta}$$

$$\text{Pb} = (0,035 \times 36,36) + (0,045 \times 54,96) + (0,18 \times 8,68) + 2,0$$

$$\text{Pb} = 7,30 \approx 7,5\%$$

Perhitungan kadar aspal tengah yang diperoleh mendekati nilai 7,5%, yang kemudian diurutkan dua variasi kadar aspal ke bawah dan dua variasi kadar aspal ke atas dengan interval 0,5%. Dari hasil perhitungan perkiraan kadar aspal diperoleh lima variasi kadar aspal yaitu 6,5%, 7%, 7,5%, 8%, dan 8,5%. Persentase terhadap berat total agregat yang digunakan yaitu 1200 gram.

Perhitungan berat material dan aspal dalam campuran berdasarkan proporsi yang telah ditetapkan adalah sebagai berikut:

Contoh perhitungan

Kadar Aspal 6,5%

- Agregat Kasar (CA) 31% = $1200 \times 31\%$ = 372 gram
- Abu Batu (FA) 31% = $1200 \times 31\%$ = 372 gram
- Pasir (SA) 38% = $1200 \times 38\%$ = 456 gram +

Berat Total Agregat = 1200 gram

- Aspal $6,5\% = \left(\frac{6,5}{(100 - 6,5)} \right) \times 1200$ = 83,4 gram

Berat Total Campuran + Aspal = 1200 gram + 83,4 gram = 1283,4 gram

Perhitungan rencana berat material dan aspal dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.5 Rencana Komposisi Campuran

Berat Total Agregat 1200 gram						Berat Total Agregat Campuran	Variasi Kadar Aspal					Kode Sampel
Agregat Kasar		Abu Batu		Pasir			6,5%	7,0%	7,5%	8,0%	8,5%	
						Berat Kadar Aspal Terhadap Total Campuran						
%	gram	%	gram	%	gram	gram	Gram					
31	372	31	372	38	456	1200	83,4	90,3	97,3	104,3	111,5	I

Sumber: Hasil Perhitungan (2020)

4.2 Pengujian Marshall

4.2.1 Persiapan Pengujian Marshall

Setelah perhitungan komposisi campuran (*mix design*) maka selanjutnya adalah pembuatan briket atau benda uji. Pembuatan benda uji mengikuti prosedur pada SNI 06-2489-1991. Jumlah tumbukan yang digunakan adalah 2 x 75 kali tumbukan dengan asumsi jalan digunakan untuk lalu lintas sedang.

Benda uji yang telah dipadatkan, kemudian didiamkan pada suhu ruangan selama 24 jam, kemudian ditimbang dalam suhu ruang dan beratnya ditetapkan. Selanjutnya benda uji tersebut direndam dalam air selama 24 jam, kemudian ditimbang dalam air dan berat ditetapkan. Setelah benda uji diangkat dan dikeringkan sampai mencapai kering permukaan jenuh (SSD), lalu ditimbang dan ditetapkan beratnya.

Sebelum pengujian dengan alat Marshall dilakukan, benda uji direndam terlebih dahulu dalam bak air panas (*water bath*), dengan temperatur 60°C selama 30 - 40 menit. Pada tes Marshall diperoleh besaran-besaran seperti stabilitas dalam satuan kg dan *flow* dalam satuan mm.

4.2.2 Perhitungan Pengisian Tabel Pengujian Marshall

Sebelum melakukan perhitungan dan menganalisa hasil pengujian Marshall, terlebih dahulu dilakukan perhitungan berat jenis dan penyerapan terhadap total agregat campuran.

Dari hasil perhitungan berat jenis dan penyerapan terhadap total agregat untuk campuran Lataston Lapis Aus (*HRS-WC*), yang terdapat pada Lampiran 15, diperoleh hasil seperti Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan terhadap Total Agregat

No	Pemeriksaan	Satuan	Hasil Perhitungan
1.	Berat Jenis Bulk (GSB)	(gram/cm ³)	2.566
2.	Berat Jenis Semu (GSA)	(gram/cm ³)	2.692
3.	Berat Jenis Efektif (GSE)	(gram/cm ³)	2.629
4.	Penyerapan (Pba)	(gram/cm ³)	1.014

Sumber: Hasil Perhitungan (2020)

Setelah diperoleh nilai-nilai seperti pada Tabel 4.6 di atas, maka selanjutnya dilakukan perhitungan tabel hasil tes Marshall. Berikut contoh perhitungan pengisian tabel tes Marshall untuk briket atau benda uji menggunakan Kode II (Lampiran 16).

- a. Kadar aspal terhadap campuran (%) (Kolom A)

$$\text{Kolom A} = 6,5\%$$

- b. Kadar aspal terhadap agregat (%) (Kolom B)

$$\text{Kolom B} = \frac{\text{Kolom A}}{100 - \text{Kolom A}} \times 100 = \frac{6,5}{100 - 6,5} \times 100 = 6,95\%$$

- c. Berat benda uji/briket (Kolom C)

$$\text{Kolom C} = 1278,10 \text{ gram}$$

- d. Berat benda uji/briket dalam keadaan jenuh (Kolom D)

$$\text{Kolom D} = 1283,10 \text{ gram}$$

- e. Berat benda uji/briket dalam air (Kolom E)

$$\text{Kolom E} = 703,80 \text{ gram}$$

- f. Isi benda uji (Kolom F)

$$\text{Kolom F} = \text{Kolom D} - \text{Kolom E} = 1283,10 - 703,80 = 579,30 \text{ gram}$$

- g. Berat isi benda uji (Kolom G)

$$\begin{aligned} \text{Kolom G} &= \frac{\text{Kolom C}}{\text{Kolom F}} = \frac{1278,10}{579,30} \\ &= 2,206 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

- h. Berat jenis maksimum teoritis (Kolom H)

$$\text{Kolom H} = \frac{100}{\frac{\% \text{ Agregat}}{BJ \text{ Agregat}} + \frac{\% \text{ Aspal}}{BJ \text{ Aspal}}}$$

$$\text{Kolom H} = \frac{100}{\frac{(100 - 6,95)}{2,629} + \frac{6,95}{1,089}}$$

$$\text{Kolom H} = 2,394 \text{ gram/cm}^3$$

i. $\text{Kolom I} = \frac{\% \text{ Aspal terhadap campuran } (B) \times \text{Isi benda uji } (G)}{\text{Berat jenis aspal}}$

$$\begin{aligned} \text{Kolom I} &= \frac{6,95 \times 2,206}{1,089} \\ &= 14,084 \% \end{aligned}$$

j. $\text{Kolom J} = \frac{(100 - B) \times G}{\text{Berat jenis agregat}}$

$$\begin{aligned} &= \frac{(100 - 6,95) \times 2,206}{2,629} \\ &= 78,081 \% \end{aligned}$$

k. Jumlah kandungan rongga (Kolom K)

$$\begin{aligned} \text{Kolom} &= 100 - \text{Kolom I} - \text{Kolom J} \\ \text{Kolom K} &= 100 - 14,084 - 78,081 \\ &= 7,835 \% \end{aligned}$$

l. Persen rongga terhadap agregat (*Void Mixture Aggregate/VMA*) (Kolom L)

$$\begin{aligned} \text{Kolom L} &= 100 - \text{Kolom J} \\ &= 100 - 78,081 \\ &= 21,919 \% \end{aligned}$$

m. Persen rongga terisi aspal (*Void Filled Bitumen/VFB*) (Kolom M)

$$\begin{aligned} \text{Kolom M} &= 100 \times \frac{\text{Kolom I}}{\text{Kolom L}} \\ \text{Kolom M} &= 100 \times \frac{14,084}{21,919} \\ &= 64,26 \% \end{aligned}$$

n. Persen rongga terhadap campuran (*Void In Mixture/VIM*) (Kolom N)

$$\begin{aligned} \text{Kolom N} &= 100 - \left(100 \times \frac{\text{Kolom G}}{\text{Kolom H}} \right) \\ &= 100 - \frac{100 \times 2,206}{2,394} \end{aligned}$$

$$= 7,84 \%$$

- o. Pembacaan arloji Stabilitas (Kolom O)

$$\text{Kolom O} = 38,00$$

- p. Stabilitas (dengan kalibrasi alat) (Kolom P)

$$\text{Kolom P} = \text{Kolom O} \times \text{Kalibrasi alat} = 38,00 \times 24,8773 = 945,337 \text{ kg}$$

- q. Stabilitas (dengan koreksi benda uji) (Kolom Q)

$$\text{Koreksi benda uji} = 0,83 \text{ (dari kolom S)}$$

$$\text{Kolom Q} = \text{Stabilitas (Kolom P)} \times \text{Koreksi benda uji (Kolom S)}$$

$$\text{Kolom Q} = 945,337 \times 0,83 = 784,630 \text{ kg}$$

- r. Kelelahan Koreksi/*Flow* (Kolom R)

$$\text{Kolom R} = 2,87$$

- s. Hasil Bagi Marshall (Kolom T)

$$\text{Kolom T} = \frac{\text{Kolom Q}}{\text{Kolom R}} = \frac{784,630}{2,87} = 273,390 \text{ kg/mm}$$

4.3 Analisis Hasil Pengujian Marshall dengan Variasi Kadar Aspal

Karakteristik utama campuran aspal panas yang diperoleh dari pengujian Marshall adalah stabilitas, kelelahan (*flow*), hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*), rongga dalam campuran (VIM), dan rongga terisi aspal (VFB). Hasil pengujian Marshall terhadap briket/benda uji di Laboratorium menunjukkan tidak semuanya memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan untuk campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)*. Terdapat 5 (lima) karakteristik campuran aspal panas dengan variasi kadar aspal yang telah diuji. Untuk menganalisis hubungan kelima karakteristik campuran dengan variasi kadar aspal, digunakan bantuan grafik.

Hasil dari pengujian Marshall di Laboratorium dapat dilihat pada Tabel 4.7 atau secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 16.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Parameter Karakteristik Marshall

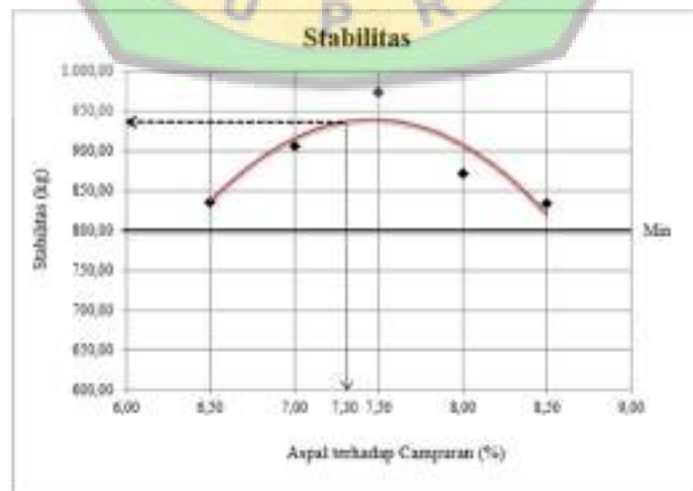
Kadar Aspal (%)	Parameter Karakteristik Marshall					Keterangan
	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VIM (%)	VFB (%)	MQ (kN/mm)	
6,5	835,877	2,80	7,410	65,660	298,862	Flow, VIM dan VFB Tidak Memenuhi
7,0	906,446	3,10	5,839	72,739	292,233	VIM Tidak Memenuhi
7,5	973,449	3,23	4,164	80,224	300,817	Memenuhi
8,0	871,037	3,03	3,862	82,341	287,063	VIM Tidak Memenuhi
8,5	833,058	3,00	3,193	85,814	278,659	VIM Tidak Memenuhi
Spesifikasi	> 800	> 3,00	4 – 6	> 68	> 250	

Sumber: Hasil Pengujian Marshall (2020)

Hasil dari pengujian Marshall I ini menunjukkan bahwa pada kadar aspal 7,5%, campuran aspal tersebut memenuhi spesifikasi terhadap semua parameter Marshall, sedangkan pada kadar aspal 6,5%, 7,0%, 8,0% dan 8,5% beberapa parameter Marshall pada campuran aspal tersebut tidak memenuhi spesifikasi.

4.3.1 Hubungan Stabilitas terhadap Kadar Aspal

Stabilitas adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban tanpa terjadi perubahan bentuk. Batas spesifikasi stabilitas untuk campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* minimal 800 kg.



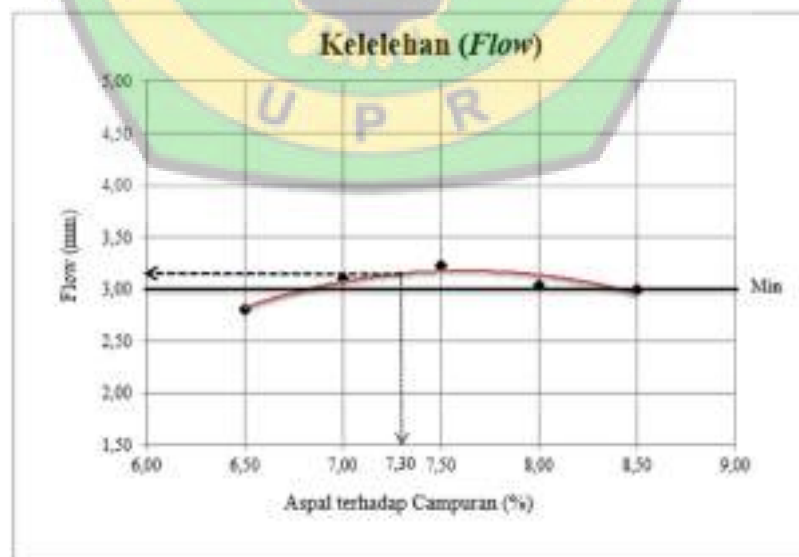
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Stabilitas terhadap Variasi Kadar Aspal

Dari gambar di atas nilai stabilitas tertinggi dicapai pada kadar aspal 7,5% yaitu 973,449 kg dan nilai stabilitas terendah pada kadar aspal 8,5% yaitu 833,058 kg. secara keseluruhan nilai stabilitas memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga (2010) Revisi 3 (tiga) untuk campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* yaitu minimal sebesar 800 kg.

4.3.2 Hubungan Kelelahan (*Flow*) terhadap Variasi Kadar Aspal

Kelelahan (*flow*) adalah kemampuan lapisan perkerasan untuk menerima beban berulang tanpa terjadi kelelahan yang berupa alur (*ruting*) dan retak. Nilai kelelahan (*flow*) yang disyaratkan pada Spesifikasi Bina Marga (2010) Revisi 3 (tiga) untuk campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* yaitu 3 mm-4 mm.

Hasil pengujian kelelahan (*flow*) diperoleh dari nilai rata-rata tiga benda uji yang mewakili setiap kadar aspal. Pangaruh nilai kelelahan (*flow*) dengan variasi kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut.



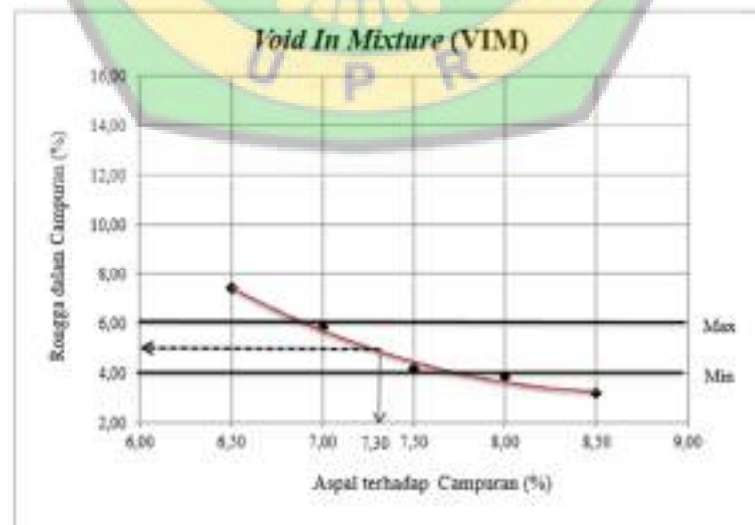
Gambar 4.4 Grafik Hubungan *Flow* terhadap Variasi Kadar Aspal

Dari gambar di atas menunjukkan bahwa nilai tertinggi *flow* terjadi pada kadar aspal 7,5% yaitu sebesar 3,23 mm dan nilai terendah *flow* terjadi pada kadar aspal 6,5% yaitu sebesar 2,80 mm. Nilai kelelahan (*flow*) pada kadar aspal 7,0% hingga 8,5% memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga (2010) Revisi 3 untuk campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)*.

4.3.3 Hubungan Rongga Udara dalam Campuran (*Void In Mixture/VIM*) terhadap Variasi Kadar Aspal

Rongga udara dalam campuran (*Void In Mixture/VIM*) merupakan indikator terhadap ketahanan campuran (*durabilitas*). Rongga udara yang cukup akan memberikan kesempatan untuk pepadatan tambahan akibat pepadatan yang berulang yang diakibatkan oleh beban lalu lintas.

Nilai rongga udara dalam campuran (*VIM*) yang dinyatakan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga (2010) Revisi 3 (tiga) untuk campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course* yaitu 4%-6%. Hasil perhitungan nilai rongga udara dalam campuran (*VIM*) dapat dilihat pada Gambar 4.5

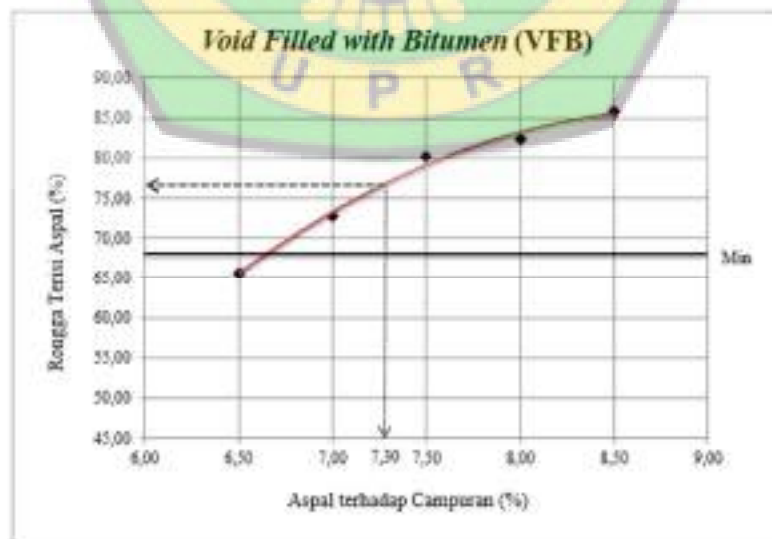


Gambar 4.5 Grafik Hubungan Rongga Udara dalam Campuran (VIM) terhadap Variasi Kadar Aspal

Dari Gambar 4.5 menunjukkan bahwa semakin bertambahnya kadar aspal maka akan menurunkan kadar rongga udara dalam campuran. Hal ini disebabkan dengan meningkatnya jumlah aspal yang dapat mengisi rongga udara di dalam campuran aspal. Nilai VIM yang memenuhi persyaratan berada pada kadar aspal 7,5%.

4.3.4 Hubungan Rongga Terisi Aspal (*Voids Filled With Bitumen/VFB*) terhadap Variasi Kadar Aspal

Rongga terisi aspal adalah persentase dari rongga antar butir agregat yang terisi aspal. Nilai rongga yang terisi aspal yang terlalu kecil menyebabkan daya lekat antar agregat menjadi berkurang, sehingga mudah lepas dan sangat mempengaruhi *durabilitas* campuran akan tetapi bila rongga terisi aspal terlalu besar memungkinkan terjadinya *bleeding*. Nilai rongga terisi aspal (VFB) yang ditetapkan oleh Spesifikasi Bina Marga (2010) Revisi 3 (tiga) yaitu lebih besar dari 68%. Nilai rongga terisi aspal (VFB) dapat dilihat pada Gambar 4.6 yang merupakan gambar grafik hubungan rongga terisi aspal dengan kadar aspal.



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Rongga Terisi Aspal (VFB) terhadap Variasi Kadar Aspal

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa nilai rongga terisi aspal (*VFB*) cenderung meningkat seiring dengan semakin bertambahnya jumlah aspal. Hal tersebut disebabkan peningkatan jumlah aspal yang mengisi rongga-rongga udara diantara butiran agregat.

4.3.5 Hubungan Hasil Bagi Marshall (*Marshall Quotient*) terhadap Kadar Aspal

Hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*) merupakan nilai yang diperoleh dari nilai stabilitas dibagi dengan nilai kelelahan (*flow*). Nilai hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*) yang dinyatakan oleh Spesifikasi Bina Marga (2010) Revisi 3 yaitu lebih besar dari 250 kg/mm. Hasil perhitungan nilai *Marshall Quotient* dan hubungannya dengan variasi kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 4.7 di bawah ini.

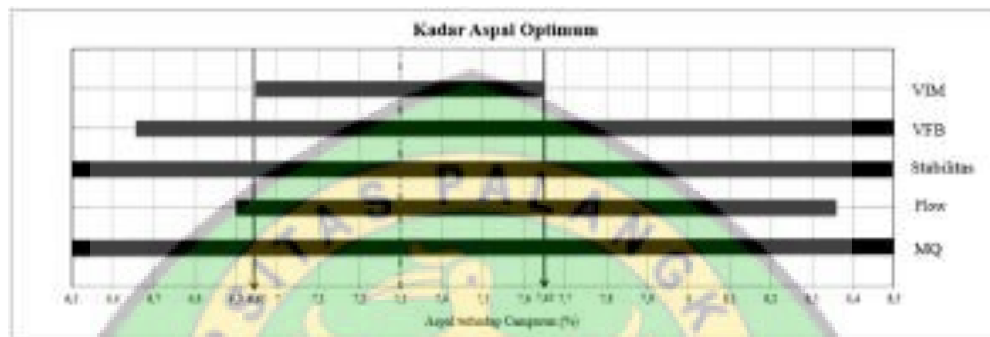


Gambar 4.7 Grafik Hubungan Nilai Hasil Bagi Marshall terhadap Variasi Kadar Aspal

Gambar 4.7 menunjukkan nilai hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*) tertinggi terjadi pada nilai kadar aspal 7,5%, yaitu sebesar 300,817 kg/mm, sedangkan nilai hasil bagi Marshall terendah terjadi pada nilai kadar aspal 8,5%, yaitu sebesar 278,659 kg/mm.

Setelah melihat grafik-grafik di atas, maka dapat ditentukan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) secara grafis, yaitu dengan cara memplotkan rentang kadar aspal yang memenuhi persyaratan spesifikasi stabilitas, *flow*, VIM dan VFB dan *Marshall Quotient*.

Hasil selengkapnya dapat dilihat pada grafik hubungan kadar aspal dengan sifat karakteristik Marshall terhadap kadar aspal seperti berikut pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Nilai Parameter Marshall terhadap Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar Aspal Optimum

$$= \frac{6,95 + 7,65}{2} = 7,30\%$$

Hasil evaluasi sifat karakteristik Marshall menunjukkan bahwa rentang kadar aspal 6,95% hingga 7,65% campuran memenuhi semua persyaratan yang ditentukan. Berdasarkan rentang tersebut diambil nilai tengah rentang yaitu 7,30% sebagai nilai Kadar Aspal Optimum (KAO). Dari hasil pengujian maka didapat hasil nilai parameter Marshall KAO 7,30% dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Nilai Parameter Karakteristik Marshall pada Kadar Aspal Optimum

Komposisi Campuran	KAO (%)	Parameter Karakteristik Marshall				
		Stabilitas (kg)	Flow (mm)	Rongga dalam Campuran (%)	Rongga Terisi Aspal (%)	Hasil Bagi Marshall (kg/mm)
I	7,30	938,00	3,15	4,90	76,7	297,00
Spesifikasi	-	>800	>3	4-6	>68	>250

Sumber: Hasil Perhitungan (2020)

Dapat dilihat dari tabel di atas bahwa nilai parameter karakteristik Marshall dari Kadar Aspal Optimum (KAO) memiliki stabilitas sebesar 932 kg, *flow* sebesar 3,15 mm, rongga dalam campuran (VIM) sebesar 4,90%, rongga terisi aspal (VFB) sebesar 76,2% dan hasil bagi Marshall (MQ) sebesar 293 kg/mm.

4.4 Analisis Saringan Bahan Tambah Plastik Jenis *High Density Polyethylene* (HDPE)

Pemeriksaan ukuran cacahan plastik dengan uji analisa saringan yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.9. Secara lengkap hasil pemeriksaan tersebut dimuat pada Lampiran 16.

Tabel 4.9 Analisis Saringan Plastik Jenis *High Density Polyethylene* (HDPE)

No. Saringan		Sampel I = 500 gram			
		Berat Tertahan	Jumlah Berat Tertahan	Persentase	
inch	mm			Tertahan	Lolos
#3/4	19	0,00	0,00	0,00	100,00
#1/2	12,7	0,00	0,00	0,00	100,00
#3/8	9,5	27,35	27,35	5,47	94,53
No.8	2,36	468,63	495,98	99,20	0,80
No.30	0,60	2,82	498,80	99,76	0,24
No.200	0,075	1,20	500,00	100,00	0,00
Pan	-	0,00	500,00	100,00	0,00

Sumber: Hasil Perhitungan (2020)

4.5 Analisis Hasil Pengujian Marshall dengan Bahan Tambah Plastik Jenis *High Density Polyethylene (HDPE)*

Setelah diperoleh nilai kada aspal optimum (KAO), selanjutnya dilakukan penelitian dengan menggunakan bahan tambah plastik bekas jenis *High Density Polyethylene (HDPE)* dengan variasi kadar bahan tambah yang sudah direncanakan dan dengan komposisi agregat yang sama dengan KAO. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.9 berikut.

Tabel 4.10 Rencana Komposisi Campuran dengan Variasi Persentase Bahan Tambah Plastik Jenis *High Density Polyethylene (HDPE)*

Berat Total Agregat Campuran	Persentase dan Berat KAO terhadap Total Campuran		Persentase Plastik terhadap Berat Aspal (KAO)	Berat Plastik terhadap Berat Aspal (KAO)	Berat Total Campuran	Kode Sampel
	Gram	%	Gram	%	Gram	
1200	7,30	94,50	2,00	1,89	1296,39	A
1200	7,30	94,50	4,00	3,78	1298,28	B
1200	7,30	94,50	6,00	5,67	1300,17	C
1200	7,30	94,50	8,00	7,56	1302,06	D
1200	7,30	94,50	10,00	9,45	1303,95	E

Sumber: Hasil Perhitungan (2020)

Hasil dari pengujian parameter karakteristik Marshall pada percobaan Marshall II pada campuran dengan variasi persentase bahan tambah plastik *High Density Polyethylene (HDPE)* dapat dilihat pada Tabel 4.10 berikut ini.

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Karakteristik Marshall dengan Bahan Tambah Plastik Jenis *High Density Polyethylene (HDPE)*

Kadar Plastik terhadap Berat Aspal (%)	Parameter Karakteristik Marshall					Keterangan
	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VIM (%)	VFB (%)	MQ (kN/mm)	
0,0	938,000	3,200	4,900	76,700	297,000	Hasil Marshall I
2,0	973,449	3,217	5,164	75,881	303,277	Memenuhi
4,0	973,698	3,217	5,011	76,473	302,368	Memenuhi
6,0	1005,540	3,267	4,024	80,325	308,140	Memenuhi
8,0	1012,672	3,283	4,344	79,032	308,029	Memenuhi

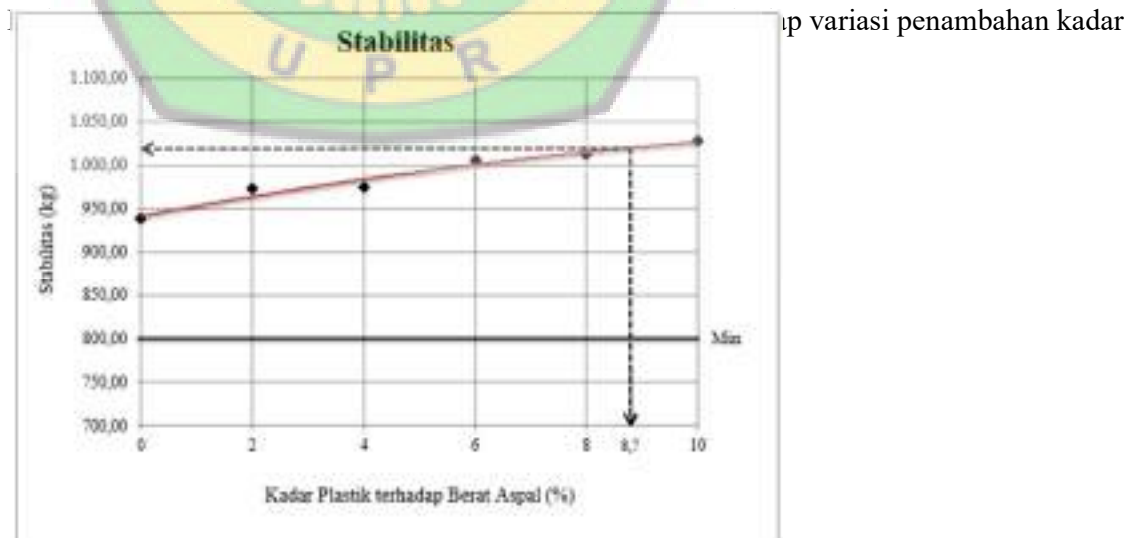
Tabel 4.11 (Lanjutan)

10,0	1026,935	3,300	3,730	81,642	313,025	VIM Tidak Memenuhi
Spesifikasi	> 800	> 3,00	4 - 6	> 68	> 250	

Sumber: Hasil Perhitungan 2020

Dari hasil pengujian Marshall II ini menunjukkan bahwa pada penambahan plastik ke dalam campuran pada persentase 2%, 4%, 6% dan 8% terhadap berat aspal dari KAO, campuran aspal tersebut sudah memenuhi Spesifikasi Parameter Marshall pada Spesifikasi Bina Marga (2010) Revisi 3 (tiga). Sedangkan untuk penambahan plastik persentase 10%, nilai parameter karakteristik Marshall dari rongga dalam campuran (VIM) tidak memenuhi Spesifikasi. Nilai rongga dalam campuran (VIM) untuk persentase bahan tambah 10% yaitu sebesar 3,730%, sedangkan nilai yang disyaratkan dari Spesifikasi Bina Marga (2010) Revisi 3 (tiga) yaitu nilai rongga dalam campuran (VIM) sebesar 4% - 6%.

4.5.1 Hubungan Stabilitas terhadap Variasi Penambahan Kadar Plastik

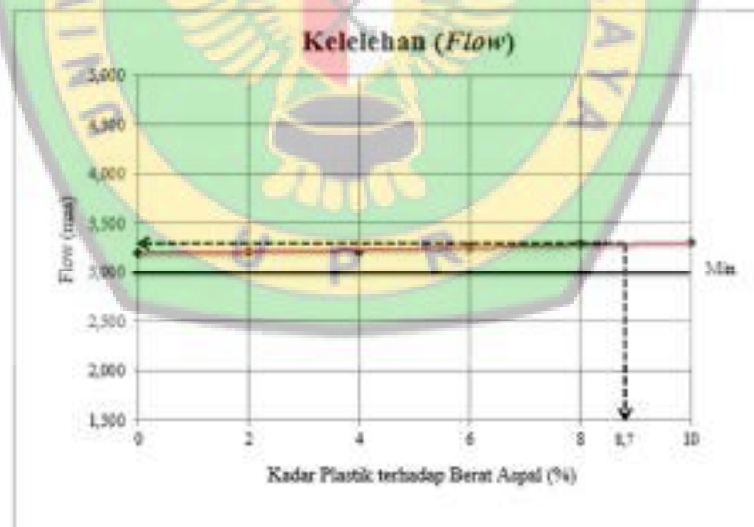


Gambar 4.9 Grafik Hubungan Stabilitas terhadap Variasi Penambahan Kadar Plastik

Dari grafik di halaman sebelumnya dapat dilihat bahwa nilai stabilitas yang diperoleh pada percobaan Marshall II sudah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Spesifikasi Bina Marga (2010) Revisi 3 (tiga) yaitu minimal sebesar 800 kg. Semakin besar persentase penambahan kadar plastik pada campuran aspal panas, maka nilai stabilitas yang dihasilkan akan semakin besar. Nilai stabilitas tertinggi dicapai pada penambahan kadar plastik sebesar 10% dari berat aspal, yaitu sebesar 1026,935 kg.

4.5.2 Hubungan Kelelehan (*Flow*) terhadap Variasi Penambahan Kadar Plastik

Pada Gambar 4.10 berikut akan dilihat pengaruh parameter kelelehan (*flow*) terhadap variasi penambahan kadar plastik jenis *High Density polyethylene* (*HDPE*).

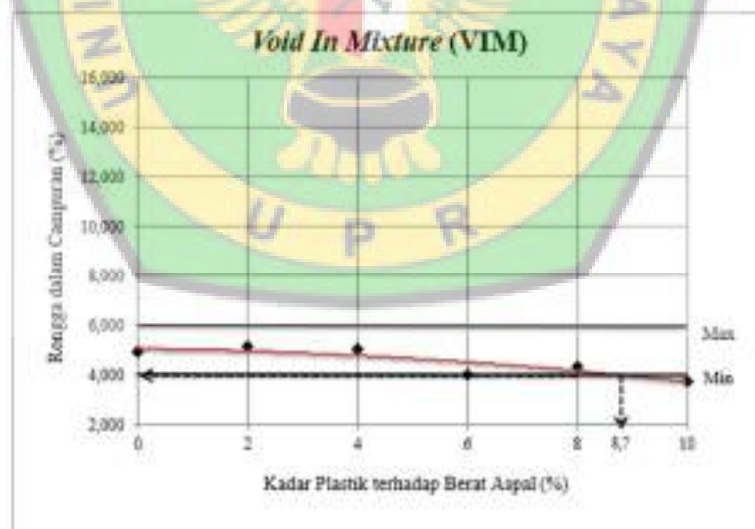


Gambar 4.10 Grafik Hubungan Kelelehan (*Flow*) terhadap Variasi Penambahan Kadar Plastik

Dari Gambar 4.10 di halaman sebelumnya dapat dilihat bahwa nilai kelelahan (*flow*) yang diperoleh pada percobaan Marshall II sudah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Spesifikasi Bina Marga (2010) Revisi 3 (tiga) yaitu lebih besar dari 3 mm. Semakin besar persentase penambahan kadar plastik pada campuran aspal panas, maka nilai *flow* yang dihasilkan akan semakin besar. Nilai *flow* tertinggi dicapai pada penambahan kadar plastik sebesar 10% dari berat aspal, yaitu bernilai 3,30 mm.

4.5.3 Hubungan Rongga Udara dalam Campuran (*Void In Mixture/VIM*) terhadap Variasi Penambahan Kadar Plastik

Nilai rongga udara dalam campuran (*VIM*) yang dinyatakan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga (2010) Revisi 3 (tiga) untuk campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course* yaitu 4%-6%. Pada Gambar 4.11 akan dilihat pengaruh nilai parameter rongga udara dalam campuran (*VIM*) terhadap variasi

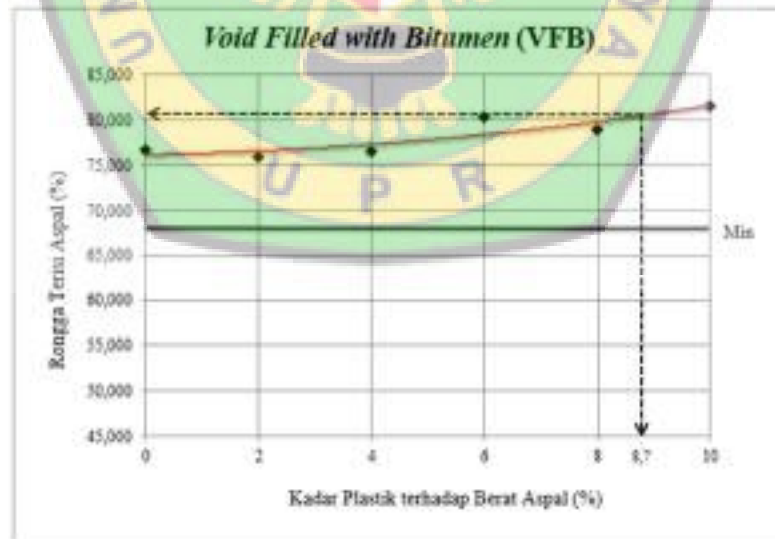


Gambar 4.11 Grafik Hubungan Rongga Udara dalam Campuran (*VIM*) terhadap Variasi Penambahan Kadar Plastik

Dari Gambar 4.11 menunjukkan nilai rongga udara dalam campuran (VIM) yang memenuhi spesifikasi yaitu pada penambahan plastik dengan kadar persentase 2%, 4%, 6% dan 8% yang nilainya berturut-turut yaitu 5,164%, 5,011%, 4,024% dan 4,344%. Sedangkan untuk penambahan kadar plastik sebesar 10% tidak memenuhi spesifikasi karena berada di luar bentang syarat spesifikasi, yang nilainya yaitu sebesar 3,730%. Dari grafik dapat disimpulkan bahwa semakin besar penambahan kadar plastik pada campuran, maka semakin menurun nilai rongga udara dalam campuran (VIM).

4.5.4 Hubungan Rongga Terisi Aspal (*Void Filled With Bitumen/VFB*) terhadap Variasi Penambahan Kadar Plastik

Pada Gambar 4.12 akan dilihat pengaruh rongga terisi aspal (VFB) terhadap variasi penambahan kadar plastik jenis *High Density polyethylene (HDPE)*.



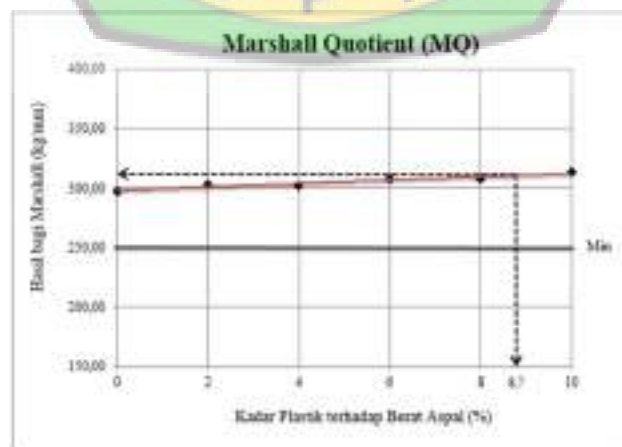
Gambar 4.12 Grafik Hubungan Rongga Terisi Aspal (VFB) terhadap Variasi Penambahan Kadar Plastik

Dari gambar di halaman sebelumnya menunjukkan bahwa nilai rongga terisi aspal (VFB) pada percobaan Marshall II sudah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Spesifikasi Bina Marga (2010) Revisi 3 (tiga) yaitu nilainya lebih besar dari 68%.

Nilai VFB terbesar yaitu pada penambahan kadar plastik persentase 10% yaitu besarnya 81,642%. Nilai rongga terisi aspal (VFB) cenderung meningkat seiring dengan besarnya persentase kadar penambahan plastik yang ditambahkan kecampuran. Hal tersebut disebabkan karena plastik ikut bercampur dengan aspal dan juga mengisi rongga-rongga yang ada pada campuran tersebut.

4.5.5 Hubungan Hasil Bagi Marshall (*Marshall Quotient*) terhadap Variasi Penambahan Kadar Plastik

Nilai hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*) yang dinyatakan oleh Spesifikasi Bina Marga (2010) Revisi 3 yaitu lebih besar dari 250 kg/mm. Pada Gambar 4.13 akan dilihat pengaruh hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*) terhadap variasi penambahan kadar plastik jenis *High Density polyethylene (HDPE)*.



Gambar 4.13 Grafik Hubungan Nilai Hasil Bagi Marshall terhadap Variasi Penambahan Kadar Plastik

Gambar di halaman sebelumnya menunjukkan bahwa nilai hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*) pada percobaan Marshall II sudah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Spesifikasi Bina Marga (2010) Revisi 3 (tiga) yaitu nilainya lebih besar dari 250 kg/mm. Nilai hasil bagi Marshall tertinggi dialami pada penambahan kadar plastik sebesar 10% yaitu nilainya 313,025 kg/mm.

Dari hasil evaluasi sifat fisik benda uji pada percobaan Marshall II, dapat dilihat rentang kadar penambahan bahan plastik yaitu pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Grafik Hubungan Nilai Parameter Marshall terhadap Kadar Penambahan Bahan Plastik

Hasil evaluasi sifat karakteristik Marshall menunjukkan bahwa rentang penambahan kadar plastik persentase 0% hingga 8,7% campuran memenuhi semua persyaratan yang ditentukan. Berdasarkan rentang tersebut diambil nilai kadar penambahan plastik maksimum dilihat dari nilai parameter Marshall memenuhi semua persyaratan spesifikasi yang telah ditentukan dan dilihat dari nilai stabilitas tertinggi yang memenuhi, yaitu pada kadar penambahan plastik sebesar 8,7% sehingga dapat ditetapkan sebagai kadar bahan tambah Maksimum, dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.12 Nilai Parameter Marshall pada Kadar Plastik Maksimum

No.	Karakteristik Marshall	Nilai	Persyaratan	Satuan
1	Stabilitas	1017,664	800	Kg
2	Flow	3,289	≥ 3	Mm
3	VIM	4,000	4-6	%
4	VFB	80,150	≥ 68	%
5	Hasil Bagi Marshall	309,778	≥ 250	Kg/mm

Sumber: Hasil Perhitungan (2020)

Dapat dilihat dari tabel sebelumnya bahwa nilai parameter karakteristik Marshall dari Kadar Plastik Optimum memiliki stabilitas sebesar 1017,664 kg, flow sebesar 3,289 mm, rongga dalam campuran (VIM) sebesar 4,000%, rongga terisi aspal (VFB) sebesar 80,150% dan hasil bagi Marshall (MQ) sebesar 309,778 kg/mm atau secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 18 dan Lampiran 19.

Dari hasil pengujian, maka dapat dilihat perbandingan parameter karakteristik Marshall antara campuran aspal tanpa menggunakan bahan tambah plastik dan yang menggunakan plastik sebagai bahan tambah dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.13 Perbandingan Nilai Parameter Marshall Campuran Tanpa Plastik dan dengan Menggunakan Kadar Penambahan Plastik Maksimum

Komposisi Campuran	Kadar Plastik	Parameter Karakteristik Marshall				
		Stabilitas (kg)	Flow (mm)	Rongga dalam Campuran (%)	Rongga Terisi Aspal (%)	Hasil Bagi Marshall (kg/mm)
I	0,00	938,000	3,20	4,900	76,700	297,000
II	8,70	1017,664	3,289	4,000	80,150	309,778
Spesifikasi	-	>800	>3	4-6	>68	>250

Sumber: Hasil Perhitungan (2020)

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa penambahan plastik jenis *High Density Polyethylene (HDPE)* sebesar 8,70% dari berat aspal KAO, nilai stabilitas naik 8,493% dari nilai stabilitas campuran tanpa menggunakan bahan tambah plastik yaitu mengalami kenaikan sebesar 79,664 kg, nilai *flow* naik sebesar 0,089 mm, rongga dalam campuran turun sebesar 0,9%, rongga terisi aspal naik sebesar 3,450% dan hasil bagi Marshall naik sebesar 12,778 kg/mm.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan pada bab sebelumnya dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Material Penyusun dalam perencanaan campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* dari hasil pemeriksaan sifat-sifat fisik agregat berupa pemeriksaan gradasi (analisa saringan), berat jenis dan penyerapan, serta keausan agregat kasar memenuhi persyaratan spesifikasi.
2. Komposisi yang dihasilkan dalam perencanaan campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* terdiri dari 31% agregat kasar, 31% abu batu dan 38% Pasir.
3. Hasil penelitian terhadap Parameter Marshall dengan 5 variasi kadar aspal berbeda diantaranya 6,5%, 7,0%, 7,5%, 8,0% dan 8,5% diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) senilai 7,30%.
4. Hasil penelitian terhadap parameter karakteristik Marshall menggunakan komposisi campuran yang sama dan Kadar Aspal Optimum (KAO) senilai 7,30% dengan bahan tambah plastik jenis *High Density Polyethylene (HDPE)*, variasi kadar bahan tambah plastik sebesar 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% dari berat aspal yang diperoleh dari Kadar Aspal Optimum (KAO), dihasilkan nilai karakteristik parameter Marshall sebagai berikut:

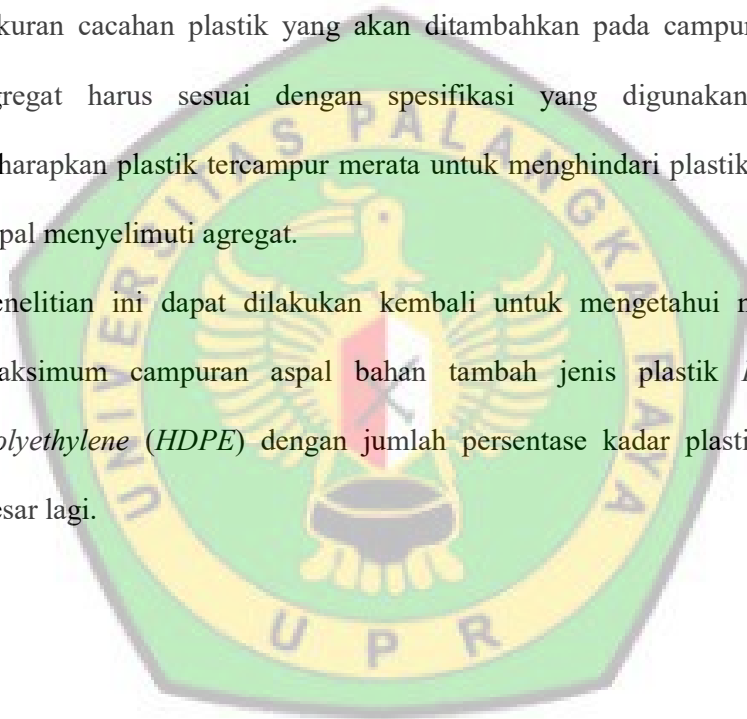
- a. Nilai stabilitas untuk semua variasi kadar bahan tambah plastik memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Nilai stabilitas tertinggi terdapat pada penambahan kadar plastik 10% yaitu sebesar 1026,935 kg. Nilai Stabilitas yang dihasilkan meningkat seiring dengan penambahan persentase kadar plastik.
- b. Nilai Kelelehan (*flow*) untuk semua variasi kadar bahan tambah plastik memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Nilai kelelehan (*flow*) tertinggi terdapat pada penambahan kadar plastik 10% yaitu sebesar 3,300 mm. Nilai *flow* meningkat seiring dengan penambahan persentase kadar plastik.
- c. Nilai rongga udara dalam campuran (VIM) untuk variasi kadar bahan tambah plastik 2%, 4%, 6% dan 8% memenuhi spesifikasi dan untuk variasi kadar bahan tambah plastik 10% tidak memenuhi spesifikasi. Nilai VIM tertinggi yang memenuhi spesifikasi pada kadar penambahan plastik 2%, yaitu sebesar 5,10%. Nilai rongga dalam campuran (VIM) yang dihasilkan cenderung menurun dengan penambahan persentase kadar plastik.
- d. Nilai rongga terisi aspal (VFB) untuk semua variasi kadar bahan tambah plastik memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Nilai rongga terisi aspal (VFB) tertinggi terdapat pada penambahan kadar plastik 10% yaitu sebesar 81,33%. Nilai rongga terisi aspal meningkat seiring dengan penambahan persentase kadar plastik.

- e. Nilai hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*) untuk semua variasi kadar bahan tambah plastik memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Nilai hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*) tertinggi terdapat pada penambahan kadar plastik 10,0% yaitu sebesar 313,025 kg/mm dan nilai terendah terdapat pada penambahan kadar plastik 4% yaitu sebesar 302,368 kg/mm.
5. Berdasarkan hasil penelitian terhadap parameter karakteristik Marshall dengan variasi kadar bahan tambah plastik bekas jenis *High Density Polyethylene (HDPE)* yang sudah dilakukan, dibuat grafik hubungan antara parameter Marshall campuran aspal dengan persentase kadar bahan tambah yang digunakan untuk menentukan nilai kadar plastik optimum. Didapatkan kadar penambahan plastik optimum sebesar 8,7%. Nilai parameter karakteristik Marshall pada Kadar Aspal Optimum (KAO) dan penambahan plastik pada kadar plastik Maksimum menghasilkan stabilitas sebesar 1017,664 kg, *flow* sebesar 3,289 mm, rongga dalam campuran (VIM) sebesar 4,000%, rongga terisi aspal (VFB) sebesar 80,150% dan hasil bagi Marshall (MQ) sebesar 309,778 kg/mm.
6. Penambahan plastik jenis *High Density Polyethylene (HDPE)* sebesar 8,7% dari berat aspal, dapat mempengaruhi parameter karakteristik Marshall nilai stabilitas naik 8,493% dari nilai stabilitas campuran tanpa menggunakan bahan tambah plastik yaitu mengalami kenaikan sebesar 79,664 kg, nilai *flow* naik sebesar 0,089 mm, rongga dalam campuran (VIM) turun sebesar 0,90%, rongga terisi aspal (VFB) naik sebesar 3,450% dan hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*) naik sebesar 12,778 kg/mm.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, dapat disampaikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Hasil analisis perencanaan campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* menggunakan bahan tambah plastik bekas jenis *High Density Polyethylene (HDPE)* dapat digunakan dalam upaya pengendalian sampah plastik dan peningkatan kualitas aspal.
2. Ukuran cacahan plastik yang akan ditambahkan pada campuran aspal dan agregat harus sesuai dengan spesifikasi yang digunakan agar dapat diharapkan plastik tercampur merata untuk menghindari plastik menghalangi aspal menyelimuti agregat.
3. Penelitian ini dapat dilakukan kembali untuk mengetahui nilai stabilitas maksimum campuran aspal bahan tambah jenis plastik *High Density Polyethylene (HDPE)* dengan jumlah persentase kadar plastik yang lebih besar lagi.



DAFTAR PUSTAKA

- Balitbang dan BBPJJN VIII Surabaya (2018), *Penerapan Skala Penuh Teknologi Aspal Limbah Plastik*, Surabaya.
- Bina Marga, (2018), Spesifikasi Umum 2018, Balai Besar pelaksanaan Jalan Nasional V Direktorat Jendral Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum, Yogyakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum (2014), *Spesifikasi Umum 2010 Revisi 3*, Jakarta.
- Diansari (2016), *Aspal Modifikasi dengan Penambahan Plastik Low Linear Density Polyethylene (LLDPE) Ditinjau dari Karakteristik Marshall dan Uji Penetrasi pada Lapisan Aspal Beton (AC-BC)*, Tugas Akhir Fakultas Teknik Universitas Udayana, Denpasar.
- Kemala, F.M.S, (2012), *Pengaruh Konsistensi Katalis Send Asetat Dihidrat pada Daur Ulang Limbah Polietilen Tereftalat (PET)*, Skripsi Kimia, Jurusan Kimia-FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Linggo, J.F.S. (2015), *Penggunaan Pvc Sebagai Bahan Tambah pada Beton Aspal*, Jurnal Penelitian Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta.
- Nasution, M.F.N. (2017), *Pengaruh Penambahan Plastik PET (Polyethylene Terephthalate) terhadap Karakteristik Campuran AC-WC di Laboratorium*, Tugas Akhir Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Rianung, S. (2007), *Kajian Laboratorium Pengaruh Bahan Tambah Gondorukem Pada Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) terhadap Nilai Propertis Marshall dan Durabilitas*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang.
- Soehartono (2015), *Teknologi Aspal dan Penggunaannya dalam Konstruksi Perkerasan Jalan*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Sukirman, S. (2003), *Beton Aspal Campuran Panas, Granit*, Jakarta.
- Wijaya (2018), *Pengaruh Bahan Tambah Polimer High Density Polyethylene (HDPE) terhadap Karakteristik Marshall pada Campuran Aspal (AC-WC)*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya, Palangka Raya.
- Yance (2017), *Kajian Laboratorium Open Graded Asphalt (OGA) menggunakan agregat Hampangan dan bahan tambah High Density Polyethylene (HDPE) dan suhu rendaman ditingkatkan*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya, Palangka Raya.

Yusrizal Yahya (2018), *Analisis Karakteristik Marshall Campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC) menggunakan Bahan Tambah Plastik Bekas Jenis Polyethylene Terephthalate (PET)*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya, Palangka Raya.

