

DRAFT SKRIPSI

**ANALISIS PENGGUNAAN AGREGAT KASAR BUATAN DALAM
CAMPURAN PERKERASAN LATASTON LAPIS AUS (*HRS-WC*)**

oleh

JEFRI SIANTONI
NIM. DAB 116 026



**JURUSAN/PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PALANGKA RAYA
PALANGKA RAYA
2022**

**ANALISIS PENGGUNAAN AGREGAT KASAR BUATAN DALAM
CAMPURAN PERKERASAN LATASTON LAPIS AUS (HRS-WC)**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya

Oleh :

JEFRI SIANTONI
NIM. DAB 116 026

**Disetujui sesuai dengan revisi dalam Form Rekomendasi dan
Berita Acara Ujian Skripsi**

Ketua Penguji/ Penguji 1



(Ir. DESRIANTOMY, M.T.)
NIP.19621223 199002 1 001

Sekretaris Penguji/ Penguji 2



(MURNIATI, S. T., M. T.)
NIP. 19791201 200501 2 001

Mengetahui:

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya

Ketua



(Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T.)
NIP.19780608 200501 1 003

**ANALISIS PENGGUNAAN AGREGAT KASAR BUATAN DALAM CAMPURAN
PERKERASAN LATASTON LAPIS AUS (HRS-WC)**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya

Oleh :

JEFRI SIANTONI
NIM. DAB 116 026

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji, pada:


Hari/Tanggal : Rabu, 16 November 2022

Waktu : 11.00 – 13.00 WIB

Tempat : Ruang Audiovisual (offline)

Tim Penguji :

1. **Ir. DESRIANTOMY, M.T.**
NIP. 19621223 199002 1 001

 (Pembimbing Utama/Ketua Penguji)

2. **MURNIATI, S.T., M.T.**
NIP. 19760111 200501 2 002

 (Pembimbing Pendamping/Sekretaris)

3. **INA ELVINA, S.T., M.T.**
NIP. 19770816 200812 2 001

 (Penguji 3)

4. **SALONTEN, S.T., M.T.**
NIP. 19771203 200212 1 002

 (Penguji 4)

Mengetahui:

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

Fakultas Teknik
Universitas Palangka Raya

Ir. WALUYO NUSWANTORO, M.T.
NIP. 196211149 199302 1 001


Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T.
NIP. 19780608 200501 1 003

BIODATA MAHASISWA

Data Pribadi

Nama : Jefri Siantoni
NIM : DAB 116 026
Tempat, Tanggal Lahir : Muara Teweh, 22 Februari 1998
Status : Belum Menikah
Agama : Islam
Pekerjaan : Mahasiswa
Alamat di Palangka Raya : Jl. Galaxy 3
No. Telp Rumah : -
Alamat Asal : Jl. Cempaka Raya RT 10 Desa Jambu
Email : jefryjef22@gmail.com
No.Hp : 0812 5851 1345
No.Wa : 0812 5851 1345
Facebook : -
Instagram : -
Line : -
Nama Ayah : Wahyuni
Pekerjaan Ayah : Petani/Pekebun
Alamat : Jl. Cempaka Raya RT 10 Desa Jambu
No.Hp : 0852 5019 6931
Nama Ibu : Hartati
Pekerjaan Ibu : Ibu Rumah Tangga
Alamat : Jl. Cempaka Raya RT 10 Desa Jambu
No.Hp : -
Wali : -



Riwayat Pendidikan*)

- SD : SD Negeri 2 Jambu (2004-2010)
- SLTP : SMP Negeri 3 Jambu (2010-2013)
- SLTA : SMA Negeri 2 Muara Teweh (2013-2016)
- Mulai mengikuti perkuliahan Program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Universitas Palangka Raya bulan September tahun 2016

LEMBAR PERSEMBAHAN

Puji dan syukur kepada Allah S.W.T Tuhan yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat, pertolongan dan anugerah-Nya melalui orang – orang yang membimbing dan mendukung dengan berbagai cara sehingga penulis dapat menulis dan menyelesaikan skripsi ini.

ORANG TUA

Terima kasih saya ucapkan kepada ayah saya WAHYUNI dan juga ibu saya HARTATI, atas segala hal dan perjuangan yang telah diberikan di dalam hidup saya, saya bersyukur kepada Allah telah memberikan kedua orang tua yang hebat di dalam hidup saya. Keduanya lah yang membuat segalanya menjadi mungkin sehingga saya bisa sampai pada tahap di mana skripsi ini akhirnya selesai. Terima kasih atas segala tetesan keringatmu, jerih payahmu, doa mu selalu menyertai langkahku. Dukungan kedua orang tua saya adalah kekuatan yang besar dalam menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini saya persembahkan buat kedua orang tua saya, semoga ini menjadi awal kedepannya untuk membuat kedua orang tua saya bangga dan bahagia.

KELUARGA

Terima kasih saya ucapkan kepada kaka kaka saya yang telah banyak sekali membantu saya sehingga saya biasa menyelesaikan perkuliahan dan juga kepada keluarga saya untuk segala dukungan yang telah diberikan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

TEMAN-TEMAN TEKNIK SIPIL (ANGKATAN 2016)

Untuk teman-teman Teknik sipil Angkatan 2016 skripsi ini saya persembahkan untuk kalian, terima kasih banyak atas support, masukan, saran dan segala kebaikan yang telah kalian perbuat dalam kehidupan saya yang tidak akan pernah saya lupakan.

DOSEN TERHORMAT

Terimakasih kepada Bapak dan Ibu dosen Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya, atas segala pengajaran dan bimbingannya selama saya menjadi mahasiswa Teknik Sipil UPR. Terimakasih juga saya ucapkan kepada dosen pembimbing Skripsi Saya Bapak Ir. DESRIANTOMY, M.T. dan Ibu MURNIATI, S.T., M.T. dan dosen penguji Skripsi Saya, yang telah membimbing Saya selama pengerjaan Skripsi ini hingga Saya dapat menyelesaikannya dan terimakasih untuk pengalaman-pengalaman yang telah di ajarkan kepada Saya.

ORANG SPESIAL

Terima kasih untuk PEMBRIANI atas dukungan, doa, kebaikan dan perhatiannya yang diberikan sehingga dapat menyelesaikan Skripsi ini.

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sungguh bahwa Skripsi saya belum pernah dipakai sebelumnya untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi manapun. Segala kutipan dan pikiran dari berbagai sumber telah diungkapkan sebagaimana disebutkan lengkap dalam daftar pustaka. Apabila kemudian hari ternyata pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia menerima segala konsekuensi akibat ketidakbenaran pernyataan saya.

Palangka Raya, November 2022

Yang membuat pernyataan



JEERI SIANTONI

NIM. DAB116026

RINGKASAN

ANALISIS PENGGUNAAN AGREGAT KASAR BUATAN DALAM CAMPURAN PERKERASAN LATASTON LAPIS AUS (HRS-WC), Jefri Siantoni, DAB 116 026, Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

Penggunaan material dalam pembangunan konstruksi jalan semakin meningkat jumlahnya seiring dengan banyaknya pembangunan jalan di Indonesia khususnya di Kalimantan Tengah sebagai salah upaya dari pemerintah untuk mensejahterakan masyarakat di suatu daerah. Tentunya material adalah suatu bagian paling penting dalam menentukan baik terhadap teknik pelaksanaan yang berkaitan dengan mutu dari suatu konstruksi jalan, dan untuk menentukan nilai harga dari material yang berhubungan dengan ekonomis seharusnya pemanfaatan penggunaan material yang ada salah satunya penggunaan agregat kasar buatan dari plastik jenis *HDPE*.

Menentukan nilai kadar aspal optimum (KAO) dan nilai karakteristik marshall dari campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)* menggunakan agregat eks. Palu, pasir eks. Tangkiling, dan agregat kasar buatan. Menganalisis pengaruh penggunaan substitusi limbah plastik jenis *High Density Polyethylene (HDPE)* sebagai agregat kasar buatan terhadap nilai karakteristik Marshall. Menentukan kadar limbah plastik *High Density Polyethylene (HDPE)* maksimum dan optimum yang dapat digunakan sebagai bahan substitusi agregat kasar buatan dalam campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)*. Penelitian ini menggunakan metode uji laboratorium, yaitu untuk menganalisis penggunaan limbah plastik sebagai substitusi agregat kasar buatan dalam lapisan *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)*. Dalam penelitian di laboratorium diadakan pengamatan dan pemeriksaan terhadap proporsi 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.

Dilihat dari nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) didapat nilai parameter Marshall pada masing-masing komposisi, sebagai berikut: pada komposisi I dengan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 7,3% didapat nilai stabilitas 936,547 kg, *VMA* 20,582%, rongga dalam campuran (*VIM*) 3,663%, rongga terisi aspal (*VFB*) 82,222% dan hasil bagi Marshall 291,716 kg/mm. Kadar substitusi maksimum untuk campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* dari bahan agregat kasar buatan limbah plastik jenis *High Density Polyethylene (HDPE)* yang di dapat dari hasil pengujian laboratorium fakultas Teknik Universitas Palangka Raya adalah 40% dan pada kadar aspal optimum (KAO) adalah 35%.

Kata Kunci: *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)*, Kadar Aspal Optimum (KAO), *High Density Polyethylene (HDPE)*, Agregat Kasar Buatan.

SUMMARY

ANALYSIS OF THE USE OF ARTIFICIAL COARD AGGREGATE IN AUS LAYER LATASTON PAVEMENT MIXTURES (HRS-WC), Jefri Siantoni, DAB 116 026, Department/Study Program of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Palangka Raya.

The use of materials in the construction of road construction is increasing in number along with the number of road constructions in Indonesia, especially in Central Kalimantan as one of the government's efforts to improve the welfare of the people in an area. Of course the material is the most important part in determining both the implementation technique related to the quality of a road construction, and to determine the price value of the material related to the economy, the use of existing materials should be used, one of which is the use of artificial coarse aggregate from HDPE plastic.

Determining the optimum asphalt content (KAO) and marshall characteristics of the Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC) mixture using ex. Palu aggregate, ex. Tangkiling sand, and artificial coarse aggregate. Analyzing the effect of using substitution of High Density Polyethylene (HDPE) plastic waste as an artificial coarse aggregate on the value of Marshall characteristics. Wearing Course (HRS-WC). This study uses a laboratory test method, namely to analyze the use of plastic waste as a substitute for artificial coarse aggregate in the Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC) layer. In laboratory research, observations and examinations are made of the proportion of the Lataston Lapis Aus (Hot Rolled Sheet-Wearing Course) mixture that meets the specifications. The resulting data is used for the design of the mixture, then a test object (briquette) is made for the Marshall test so that the characteristics of the mixture are known.

Judging from the value of Optimum Asphalt Content (KAO) the Marshall parameter values obtained for each composition are as follows: in composition I with Optimum Asphalt Content (KAO) of 7.3%, the stability value is 936.547 kg, VMA 20.582%, cavity in the mixture (VIM) 3.663%, voids filled with asphalt (VFB) 82.222% and Marshall quotient 291.716 kg/mm. The maximum substitution rate for the Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC) mixture from coarse aggregate made of plastic waste of the High Density Polyethylene (HDPE) type obtained from the results of laboratory testing of the Faculty of Engineering, University of Palangka Raya is 40% and at the optimum asphalt content (KAO).) is 35%.

Keywords: Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC), Optimum Asphalt Content (KAO), High Density Polyethylene (HDPE), Artificial Coarse Aggregate.

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.

Proposal Skripsi dengan judul “**ANALISIS PENGGUNAAN AGREGAT KASAR BUATAN DALAM CAMPURAN PERKERASAN LATASTON LAPIS AUS (HRS-WC)**” 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 Dr. Deddy Nan Setya Putra Tanggara, 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 Utama Seminar Hasil Skripsi
9. Ibu Murniati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Pendamping Seminar Hasil Skripsi.
10. Ibu Ina Elvina, S.T., M.T. selaku Dosen Pembahas/Penelaah I Seminar Hasil Skripsi .
11. Bapak Salonten, S.T., M.T. selaku Dosen Pembahas/Penelaah II Seminar Hasil Skripsi dan sekaligus dosen Pembimbing akademik.
12. Ir. Supiyan, M.T. selaku Dosen Moderator Seminar Hasil Skripsi.
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 Seminar Hasil 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, Agustus 2022

JEFRI SIANTONI
NIM. DAB 116 026

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN	i
RINGKASAN	ii
SUMMARY	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
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	9
2.1 Perkerasan Jalan	9
2.2 Lapis Permukaan (<i>Surface Course</i>)	11
2.3 <i>Hot Rolled Sheet (HRS)</i>	14
2.4 Plastik <i>High Density Polyethylene (HDPE)</i> Sebagai Bahan Substitusi Agregat Kasar Buatan dalam Campuran Pekerasan Jalan Lataston Lapis Aus (<i>HRS-WC</i>)	15

2.5	Bahan Campuran Beraspal Panas	21
2.5.1	Agregat	21
2.5.2	Aspal	25
2.6	Karakteristik Campuran Aspal	29
2.7	Metode Perencanaan Campuran	35
2.8	Perencanaan Campuran Pembentuk Lataston Lapis Aus (<i>Hot Rolled Sheet-Wearing Course</i>)	40
2.8.1	Pengujian Material	40
2.8.2	Penentuan Gradasi Agregat Buatan	40
2.8.3	Estimasi Kadar Aspal Awal	41
2.8.4	Kriteria Perencanaan Campuran Lataston Lapis Aus (<i>HRS-WC</i>)	41
2.9	Pengujian Marshall.....	42
2.10	Kajian Terhadap Penelitian Terdahulu.....	49
BAB III METODE PENELITIAN		53
3.1	Umum.....	53
3.2	Pengambilan Material	53
3.3	Pengambilan Data Sampel	53
3.4	Bahan Penelitian.....	54
3.5	Alat-alat Penelitian.....	55
3.5.1	Alat untuk Mengukur Sifat Fisik Agregat.....	55
3.5.2	Alat Pembuatan dan Pemeriksaan Benda Uji.....	57
3.6	Waktu dan Tempat Penelitian	59
3.7	Cara Penelitian	59

3.7.1	Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisik Agregat	59
3.7.2	Pemeriksaan Gradasi Agregat	59
3.7.3	Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	60
3.7.4	Pengujian Keausan Agregat Kasar	63
3.7.5	Pemeriksaan Kadar Lempung Agregat Halus	65
3.8	Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>).....	66
3.8.1	Penentuan Proporsi Campuran terhadap Total Agregat	67
3.8.2	Pembuatan Benda Uji dengan Bahan Substitusi Plastik Jenis <i>HDPE</i>	68
3.8.3	Pemeriksaan Benda Uji (Tes Marshall)	70
3.9	Tahapan Penelitian	74
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		75
4.1	Pelaksanaan Pengujian di Laboratorium	75
4.1.1	Pengujian Sifat-sifat Agregat	75
4.1.2	Perencanaan Campuran.....	76
4.2	Pengujian Marshall.....	81
4.2.1	Persiapan Pengujian Marshall.....	81
4.2.2	Perhitungan Pengisian Tabel Pengujian Marshall.....	81
4.3	Analisis Hasil Pengujian Marshall dengan Variasi Kadar Aspal	84
4.3.1	Hubungan Stabilitas terhadap Kadar Aspal	85
4.3.2	Hubungan <i>VMA</i> terhadap Variasi Kadar Aspal	86
4.3.3	Hubungan <i>VIM</i> terhadap Variasi Kadar Aspal.....	87
4.3.4	Hubungan <i>VFB</i> terhadap Variasi Kadar Aspal	88

4.3.5 Hubungan <i>VIM</i> terhadap Variasi Kadar Aspal.....	90
4.4 Analisis Saringan Agregat Kasar Buatan Plastik Jenis (<i>HDPE</i>).....	92
4.5 Analisis Hasil Pengujian Marshall Agregat Kasar Buatan dengan Bahan Substitusi Plastik (<i>HDPE</i>).....	93
4.5.1 Hubungan Stabilitas terhadap Variasi Penambahan Agregat Plastik Buatan.....	94
4.5.2 Hubungan Stabilitas terhadap Variasi Penambahan Agregat Plastik Buatan	96
4.5.3 Hubungan <i>VIM</i> terhadap Variasi Penambahan Agregat Plastik Buatan	97
4.5.4 Hubungan <i>VFB</i> terhadap Variasi Penambahan Agregat Plastik Buatan	98
4.5.5 Hubungan <i>MQ</i> terhadap Variasi Penambahan Agregat Plastik Buatan	99
 BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	103
5.2 Saran	105
DAFTAR PUSTAKA	106
LAMPIRAN	108

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1. Perbedaan antara Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku.....	10
2.2. Ketentuan Agregat Kasar.....	22
2.3. Ketentuan Agregat Halus.....	24
2.4. Ketentuan Bahan Aspal untuk Campuran Beraspal.....	27
2.5. Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Lataston	42
3.1 Pembuatan Benda Uji untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum	68
3.2 Jumlah Benda Uji Menggunakan Bahan Tambah Plastik Jenis <i>High Density Polyethylene (HDPE)</i>	69
4.1 Hasil Analisa Saringan Masing-masing Agregat.....	75
4.2 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Masing-masing Agregat	76
4.3 Hasil Perhitungan Gradasi Gabungan Cara Diagonal	76
4.4 Hasil Perhitungan Gradasi Gabungan Cara Trial and Error	77
4.5 Rencana Komposisi Campuran	80
4.6 Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan terhadap Total Agregat.....	82
4.7 Hasil Pengujian Parameter Karakteristik Marshall	85
4.8 Nilai Parameter Karakteristik Marshall pada Kadar Aspal Optimum ...	92
4.9 Analisis Saringan Agregat Kasar Buatan dari Plastik jenis <i>HDPE</i>	92
4.10 Rencana Komposisi Campuran dengan Variasi Persentase Substitusi Agregat Kasar Buatan Limbag Plastik Jenis <i>HDPE</i>	93
4.11 Hasil Pengujian Karakteristik Marshall dengan Substitusi Agregat	

Kasar Buatan Limbah plastik Jenis <i>HDPE</i>	94
4.12 Nilai Parameter Marshall pada Kadar Plastik Maksimum	101
4.13 Perbandingan Nilai Parameter Marshall Campuran tanpa Plastik dan dengan Menggunakan Kadar Penambahan Plastik Maksimum.....	101
4.14 Perbandingan Nilai Parameter Marshall Campuran tanpa Plastik dan dengan Menggunakan Kadar Penambahan Plastik Terhadap KAO.....	102

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1.1 Lokasi Penelitian	6
1.2 Lokasi Pengambilan Material Agregat Kasar	7
1.3 Lokasi Pengambilan Material Agregat Halus	7
1.4 Lokasi Pengambilan Material Plastik	8
3.1 Bagan Alir Penelitian	73
4.1 Grafik Gradasi Gabungan Cara Diagonal	77
4.2 Grafik Gradasi Gabungan Cara Trial and Error	78
4.3 Grafik Hubungan Stabilitas terhadap Variasi Kadar Aspal	85
4.4 Grafik Hubungan Rongga antar Agregat (<i>VMA</i>) terhadap Variasi Kadar Aspal.....	86
4.5 Grafik Hubungan Rongga antar Agregat (<i>VIM</i>) terhadap Variasi Kadar Aspal.....	88
4.6 Grafik Hubungan Rongga antar Agregat (<i>VFB</i>) terhadap Variasi Kadar Aspal.....	89
4.7 Grafik Hubungan Nilai Hasil Bagi Marshall terhadap Variasi Kadar Aspal	90
4.8 Grafik Hubungan Nilai Parameter Marshall terhadap Kadar Aspal Optimum (<i>KAO</i>).....	91

4.9	Grafik Hubungan Stabilitas terhadap Variasi Penambahan Agregat Kasar Buatan <i>HDPE</i>	95
4.10	Grafik Hubungan Rongga antar Agregat (<i>VMA</i>) terhadap Variasi Terhadap Variasi Penambahan Agregat Kasar Buatan <i>HDPE</i>	96
4.11	Grafik Hubungan Rongga Udara dalam Campuran (<i>VIM</i>) terhadap Variasi Terhadap Variasi Agregat Kasar Buatan <i>HDPE</i>	97
4.12	Grafik Hubungan Rongga Terisi Aspal (<i>VFB</i>) terhadap Variasi Terhadap Variasi Penambahan Agregat Kasar Buatan <i>HDPE</i>	98
4.13	Grafik Hubungan Nilai Hasil Bagi Marshall terhadap Variasi Penambahan Kadar Plastik.....	99
4.14	Grafik Hubungan Nilai Parameter Marshall terhadap Variasi Substitusi Agregat Kasar Buatan Limbah Plastik Jenis <i>HDPE</i> Terhadap Kadar Aspal Optimum (<i>KAO</i>).....	100
L21.1	Lokasi Pengambilan Agregat Kasar Eks. Palu.....	128
L21.2	Lokasi Pengambilan Pasir Eks. Tangkiling.....	128
L21.3	Pencucian Material.....	129
L21.4	Analisa saringan Agregat Kasar Eks Palu.....	129
L21.5	Pengayakan Agregat Kasar Uji Keausan	130
L21.6	Penimbangan Gabungan Agregat Sesuai dengan Porsinya.....	130
L21.7	Proses Pencampuran Agregat dan Aspal.....	131

L21.8	Pengecekan Suhu Pematatan	131
L21.9	Pemadatan Briket/Benda Uji	132
L21.10	Mengeluarkan Benda Uji dengan <i>Extruder</i>	133
L21.11	Penimbangan Benda Uji untuk Berat Kering.....	133
L21.12	Briket/Benda Uji untuk Mencari Nilai KAO.....	134
L21.13	Perendaman Briket/Benda Uji	134
L21.14	Penimbangan Briket/Benda Uji untuk Berat Dalam Air.....	135
L21.15	Penimbangan Briket/Benda Uji untuk Berat Jenuh.....	135
L21.16	Perendaman Briket/Benda Uji dalam Water Bath.....	136
L21.17	Uji Marshall	136

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar Eks.Palu	106
2. Grafik Analisa Saringan Agregat Kasar Eks. Palu.....	107
3. Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Abu Batu Eks. Palu	108
4. Grafik Analisa Saringan Abu Batu Eks. Palu	109
5. Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Pasir Eks. Tangkiling.....	110
6. Grafik Analisa Saringan Pasir Eks.Tangkiling	111
7. Grafik Gradasi Gabungan Analisa Saringan	112
8. Tabel Gradasi Gabungan Metode Diagonal	113
9. Tabel Gradasi Gabungan Metode <i>Trial and Error</i>	114
10. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar Eks. Palu.....	115
11. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Abu Batu Eks. Palu.....	116
12. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Pasir Eks. Tangkiling	117
13. Hasil Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i> Pasir Eks. Tangkiling.....	118
14. Hasil Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar Eks. Palu.....	119
15. Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Komposisi I.....	120
16. Tabel Marshall I.....	121
17. Grafik Hubungan Parameter Marshall I.....	122
18. Tabel Marshall II	123
19. Grafik Hubungan Parameter Marshall II	124
20. Tabel Korelasi Stabilitas Terhadap Isi Benda Uji.....	125

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).

Agregat dibagi menjadi dua jenis klasifikasi yang mana ada agregat alam dan agregat buatan. Agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau material lain, baik yang berasal dari alam ataupun buatan yang berbentuk padat berupa besar maupun kecil atau fragmen-fragmen (Sukirman 2003). Agregat alam dapat diepergunakan sebagaimana bentuknya dalam atau dengan sedikit pengolahan karena prosesnya yang berbentuk dari proses erosi dan degradasi sehingga bentuknya ditentukan dengan proses pembentukannya sedangkan agregat buatan proses pembentukannya tergantung jenis dan bentuk material yang akan digunakan.

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 sebagai agregat kasar buatan yang digunakan menjadi bahan substitusi sebagian bersama dengan agregat dari Eks. Palu dan Eks. Tangkiling 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 dari Eks. Palu, pasir Eks Tangkiling, dan agregat kasar buatan yang digunakan dalam campuran perkerasan laston lapis aus (*HRS-WC*) sebagai bahan substitusi memenuhi persyaratan spesifikasi ?
2. Berapa nilai kadar aspal optimum (KAO) dan nilai karakteristik yang dihasilkan dari campuran laston lapis aus (*HRS-WC*) yang menggunakan agregat Eks. Palu, pasir Eks. Tangkiling, dan agregat kasar buatan?
3. Berapa nilai karakteristik Marshall yang dihasilkan dari campuran laston lapis aus (*HRS-WC*) menggunakan bahan substitusi agregat kasar buatan?

4. Berapa kadar agregat kasar buatan maksimum yang dapat digunakan sebagai bahan substitusi dalam campuran perkerasan lataston lapis aus (*HRS-WC*)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis sifat-sifat fisik agregat yang digunakan dalam campuran perkerasan lataston lapis aus (*HRS-WC*).
2. Menentukan nilai kadar aspal optimum (KAO) serta nilai karakteristik Marshall dari campuran *HRS-WC* menggunakan agregat Eks. Palu, pasir Eks. Tangkiling, dan agregat kasar buatan.
3. Menganalisis nilai karakteristik Marshall yang di hasilkan dengan menggunakan bahan substitusi berupa agregat kasar buatan dengan variasi kadar bahan yang direncanakan.
4. Menentukan kadar bahan substitusi agregat kasar buatan maksimum dari campuran perkerasan lataston lapis aus (*HRS-WC*).

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 kasar buatan berdasarkan metode dan standar Bina Marga.
2. Campuran aspal yang dipakai pada penelitian terdiri dari ;
 - a) Aspal keras penetrasi 60/70.
 - b) Agregat kasar buatan dan agregat (kasar dan halus).
3. Agregat kasar buatan dalam penelitian ini akan digunakan sebagai bahan substitusi sebagian untuk campuran *HRS-WC*.
4. Bahan Substitusi yang digunakan adalah plastik bekas kemasan deterjen, botol shampo dan jerigen pelumas yang termasuk dalam jenis plastik *High Density Polyethylene (HDPE)* yang sudah berbentuk agregat kasar buatan.
5. Agregat kasar buatan yang digunakan harus memenuhi sifat-sifat agregat kasar berdasarkan metode dan standar bina marga.
6. Perubahan kimia yang terjadi pada pencampuran penggunaan agregat kasar buatan dan aspal diabaikan.
7. 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 dan mengurangi penggunaan agregat kasar dengan menggunakan bahan campuran sampah plastik berupa agregat kasar buatan dalam upaya memanfaatkan limbah plastik untuk 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.



Gambar 1.1 Lokasi Penelitian

Sumber : Google Earth (2021)

1.7 Lokasi Pengambilan Material

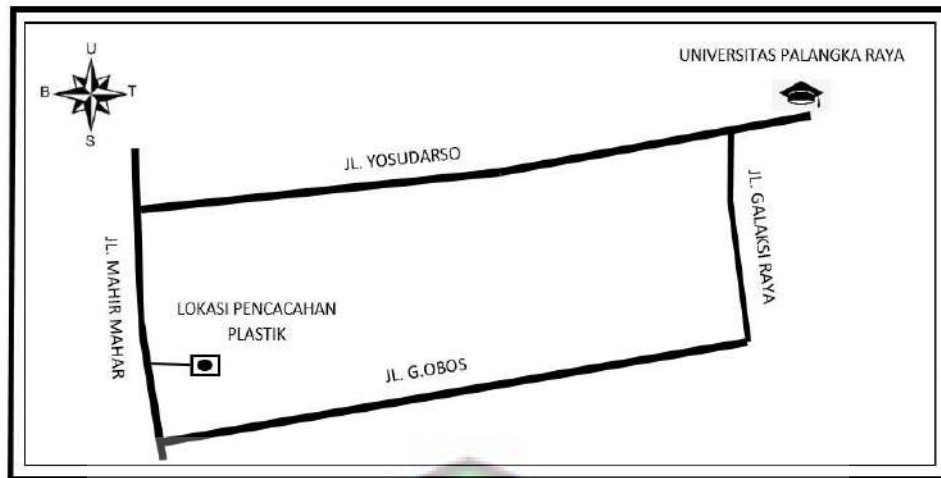
Pengambilan Material berupa agregat kasar dan abu batu Eks. Palu pada *stockfile* yang berada di *Asphalt Mixing Plant (AMP)* PT. Kalindra Utama Jalan Trans Kalimantan Palangka Raya-Kuala Kurun Desa Bahu Palawa Kabupaten Pulang Pisau dan Pengambilan Material agregat halus dari Tangkiling, Kecamatan Bukit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



Gambar 1.2 Lokasi Pengambilan Material Agregat Kasar



Gambar 1.3 Lokasi Pengambilan Material Agregat Halus



Gambar 1.4 Lokasi Pengambilan Material Plastik



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 kekedapan 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 Substitusi Agregat Kasar Buatan dalam Campuran Pengerasan jalan Lataston Lapis Aus (*HRS-WC*)

Ada beberapa jenis-jenis plastik selain plastik *high density polyethylene HDPE* yaitu :

- a. *Polyethylene Terephthalate (PET or PETE or Polyester)* yaitu dikenal sebagai plastik fiber anti kerut. Plastik PET mengandung *antimony trioxide* yang dianggap karsinogen (dapat memicu kanker). PET biasanya digunakan untuk kemasan makanan dan minuman karena kemampuannya untuk menjaga makanan tetap kedap udara.
- b. *High-Density Polyethylene (HDPE)* Pengertian atau singkatan plastik *HDPE* adalah dari *High-Density Polyethylene*. Cukup spesial jika dibandingkan

plastik tipe lainnya, plastik tipe *HDPE* memiliki rantai polimer tunggal yang cukup panjang yang membuat jenis plastik ini cukup padat, kuat, dan lebih tebal jika dibandingkan *PET*.

HDPE contohnya digunakan sebagai kantung belanja, karton susu, botol jus, botol shampoo dan botol kemasan obat.

Hanya mudah didaur ulang, *HDPE* juga relatif lebih stabil dari *PET*. *HDPE* dianggap sebagai jenis plastik yang cukup aman untuk digunakan bersama makanan dan minuman, meskipun beberapa studi menunjukkan bahwa jika terekspos oleh sinar *UV* dalam waktu yang lama, *HDPE* dapat menghasilkan zat kimia serupa estrogen (salah satu hormon pada manusia) yang bisa merusak sistem hormon manusia.

- c. *Polyvinyl Chloride (PVC)* biasa digunakan sebagai bahan dasar produk mainan anak, pembungkus plastik, botol detergen, binder, kantung darah dan perlengkapan medis.

Plastik PVC atau yang biasa disebut vinyl tadinya merupakan bahan plastik kedua yang paling banyak dipakai di dunia (setelah polyethylene), sebelum proses manufaktur dan pembuangan PVC dianggap dapat menyebabkan masalah kesehatan serius serta polusi lingkungan.

Dalam hal keamanan penggunaan, PVC merupakan plastik yang dianggap paling berbahaya. Penggunaan PVC bisa menyebabkan keracunan beberapa zat berbahaya seperti bisphenol A (BPA), phthalates, lead, dioxins, mercury, and cadmium.

Beberapa zat yang disebutkan tersebut bisa menyebabkan kanker; PVC juga dapat meningkatkan reaksi alergi pada anak dan mengacaukan kerja hormon manusia.

d. *Low-Density Polyethylene (LDPE)*

Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, plastiik Polyethylenes adalah jenis plastik yang paling banyak digunakan di seluruh dunia. Plastik jenis ini memiliki struktur kimia polimer yang simpel, membuatnya sangat mudah untuk diproduksi.

Polimer LDPE memiliki rantai cabang yang cukup banyak membuatnya tidak terlalu padat sehingga bisa menghasilkan jenis polyethylene yang lebih lunak dan fleksibel.

LDPE (singkatan dari *Low-Density Polyethylene*) biasa digunakan sebagai bahan produk tas (belanja, laundry, roti, makanan beku, koran, sampah), pembungkus plastik, pelapis karton susu serta gelas minuman; juga botol mustard yang bisa diremas, tempat penyimpanan makanan, dan tutup kemasan.

LDPE juga digunakan untuk pelapis kabel dan kawat.

Meskipun beberapa studi menunjukkan bahwa *LDPE* bisa merusak sistem hormon manusia, *LDPE* merupakan salah satu jenis plastik yang dianggap cukup aman untuk digunakan bersama makanan dan minuman. Sayangnya, tipe plastik ini cukup sulit untuk didaurulang.

Selain itu, *PVC* juga tidak banyak diproses dalam program-program daur ulang. Inilah mengapa *PVC* sangat tidak disarankan untuk digunakan masyarakat.

- e. *Polypropylene (PP)* Lebih kaku dan lebih tahan panas, Plastik *PP* biasa digunakan untuk wadah penyimpanan makanan panas. Kekuatan *PP* bisa dikatakan berada di antara *LDPE* dan *HDPE*.

Selain untuk *thermal vest* dan beberapa bagian pada mobil, *PP* juga merupakan salah satu bahan yang digunakan pada popok bayi sekali pakai dan pembalut wanita.

Sama seperti *LDPE*, *PP (Polypropylene)* dianggap sebagai plastik yang cukup aman untuk digunakan bersama dengan makanan dan minuman. Namun meskipun memiliki kualitas yang cukup baik, *PP* tidak mudah didaur ulang dan bisa menimbulkan asma serta gangguan hormon pada manusia.

- f. *Polystyrene (PS) Styrofoam* terbuat dari jenis bahan plastik?

Plastik *Polystyrene (PS)* adalah Styrofoam yang biasa kita gunakan untuk wadah kemasan makanan, wadah karton penyimpan telur, mangkuk dan gelas sekali pakai, kemasan, juga pada helm.

Saat terekspos oleh makanan panas dan berminyak, *PS* bisa mengeluarkan styrene yang dianggap dapat mengganggu sistem saraf dan otak, bisa juga berdampak pada genetik, paru-paru, hati, serta sistem kekebalan tubuh.

Di atas semua risiko tersebut, *PS* memiliki tingkat daur ulang yang cukup rendah.

- g. *Polycarbonate (PC)* merupakan tipe plastik yang paling banyak dikategorikan sebagai tipe plastik nomor 7, yang mana tidak banyak lagi digunakan pada tahun-tahun terakhir ini karena diketahui memiliki kandungan *bisphenol A (BPA)*.

PC juga dikenal dengan nama lainnya, *Lexan*, *Makrolon*, *Makroclear*. Ironisnya, *PC* biasa digunakan untuk botol minum bayi, botol susu bayi, botol minum, galon minum, salah satu bahan kaleng makanan, botol kecap, dan pelapis gigi.

Karena dianggap beracun, beberapa negara sudah melarang penggunaan *PC* di dalam kemasan susu formula dan botol susu bayi dan balita.

BPA yang terkandung di dalam *PC* terbukti bisa menimbulkan beberapa masalah kesehatan termasuk kerusakan kromosom di dalam rahim wanita, penurunan jumlah sperma pada pria, pubertas dini, beberapa perubahan perilaku, perubahan fungsi imunitas, perubahan kelamin pada katak, kerusakan otak dan saraf, kerusakan sistem kardiovaskular, diabetes *type III*, kegemukan, kegagalan kemoterapi, kanker payudara, kanker prostat, kemandulan, serta kelainan *metabolik*.

Agregat kasar buatan dengan menggunakan bahan plastik jenis *High Density Polyethylene (HDPE)* ini sebagai bahan substitusi untuk mengurangi penggunaan agregat kasar alami dan menghemat biaya dengan memanfaatkan limbah plastik sebagai bahan pembuatannya.

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 2.2 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	SNI 2417:2008	100 putaran
			500 putaran
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya		100 putaran
			500 putaran
			Maks. 6 %
			Maks. 30 %
			Maks. 8%
			Maks. 40%

Tabel 2.2 Ketentuan Agregat Kasar (lanjutan)

Pengujian		Standar Nilai	Nilai
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95 %
Butir pecah pada agregat kasar	SMA	SNI 7619 : 2012	95/90
	Lainnya		
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 (revisi 2) 2020

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 2.3

Tabel 2.3 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
Pengujian	Standar	Nilai
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 (revisi 2) 2020

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 2.4 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⁾	

Tabel 2.4 Ketentuan Bahan Aspal untuk Campuran Beraspal (lanjutan)

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Penetrasi 60/70	Tipe II Aspal Modifikasi
2	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^0 \sin \delta$) pada osilasi 10 rad/detik	SNI 06-6442-2000	-	70
3	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	ASTM D2170-10	≥ 300	≤ 3000
4	Titik Lembek ($^{\circ}C$)	SNI 2434-2011	≥ 48	Dilaporkan ⁽¹⁾
5	Daktilitas pada 25 °C, (cm)	SNI 2432-2011	≥ 100	-
6	Titik Nyala ($^{\circ}C$)	SNI 2433-2011	≥ 232	≥ 232
7	Kelarutan dalam Trichloroethy	AASHTO T44-14	≥ 99	≥ 99
8	Berat Jenis	SNI 2441-2011	$\geq 1,0$	-
9	Stabilitas Penyimpanan : perbedaan titik lembek ($^{\circ}C$)	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	$\leq 0,8$	$\leq 0,8$

Tabel 2.4 Ketentuan Bahan Aspal untuk Campuran Beraspal (lanjutan)

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Penetrasi 60/70	Tipe II Aspal Modifikasi	
12	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^{\circ}\text{Sin}\delta$) pada osilasi 10 rad/detik	SNI 06-6442-2000	-	70	76
13	Penetrasi pada 25°C (%)	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 menghasilkan Geser Dinamis ($G^{\circ}\text{Sin}\delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 1,0 \text{ kPa}$, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	31	34

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (revisi 2) 2020

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 repitisi 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 di atas.
- 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 Buatan

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 lataston.

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 2.5 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 Bina Marga 2018 (revisi 2) 2020

b. Gradasi Agregat Buatan Gabungan Campuran

Persyaratan gradasi agregat Buatan 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 2.6 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
0,6	No. 30	35-60
0,075	No. 200	6-10

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (revisi 2) 2020

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. Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan 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 :

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

Keterangan :

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

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran.

G_{mb} = Berat jenis curah campuran padat.

5. Hasil Bagi Marshall (*Marshall Quotient*)

Hasil bagi Marshall merupakan hasil bagi stabilitas dengan kelelahan. 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 :

$$VMA = \left(100 \times \frac{Gmb - Ps}{Gsb} \right) \% \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

VMA = Rongga dalam agregat mineral (persen volume curah)

Gsb = Berat jenis curah agregat

Ps = 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) :

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

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 Polyethylene (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.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Penelitian ini menggunakan metode uji laboratorium, yaitu untuk menganalisis penggunaan agregat kasar buatan dari plastik bekas jenis *HDPE* 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 Buatan 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. Agregat Kasar buatan di ambil dari Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

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 30%, 35%, 40%, 45% dan 50%. 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 agregat kasar buatan berupa butiran-butiran dari plastik 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 kedalam 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 equivalent 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 beda 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 tekannnya.
 - 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 \pm 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 inci 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 terbang.
- 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 :

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

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

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

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

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 :

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

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

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

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

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 kelelahan (*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 Substitusi agregat kasar buatan limbah plastik jenis *High Density Polyethylene (HDPE)* dengan variasi persentase 30%, 35%, 40%, 45% dan 50% 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 tambahannya.

Tabel 3.2 Jumlah Benda Uji Menggunakan Substitusi Agregat Kasar Buatan Plastik Jenis *High Density Polyethylene (HDPE)*

Persentase Bahan Tambah <i>HDPE</i>	Jumlah Benda Uji	Keterangan
30 %	3 buah	Campuran agregat spesifikasi <i>HRS-WC</i> + kadar aspal optimum + 2 % <i>HDPE</i>
35%	3 buah	Campuran agregat spesifikasi <i>HRS-WC</i> + kadar aspal optimum + 4 % <i>HDPE</i>

Tabel 3.2 Jumlah Benda Uji Menggunakan Substitusi Agregat Kasar Buatan Plastik Jenis *High Density Polyethylene (HDPE)* (lanjutan)

Persentase Bahan Tambah <i>HDPE</i>	Jumlah Benda Uji	Keterangan
40%	3 buah	Campuran agregat spesifikasi <i>HRS-WC</i> + kadar aspal optimum + 6 % <i>HDPE</i>
45%	3 buah	Campuran agregat spesifikasi <i>HRS-WC</i> + kadar aspal optimum + 8 % <i>HDPE</i>
50 %	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.

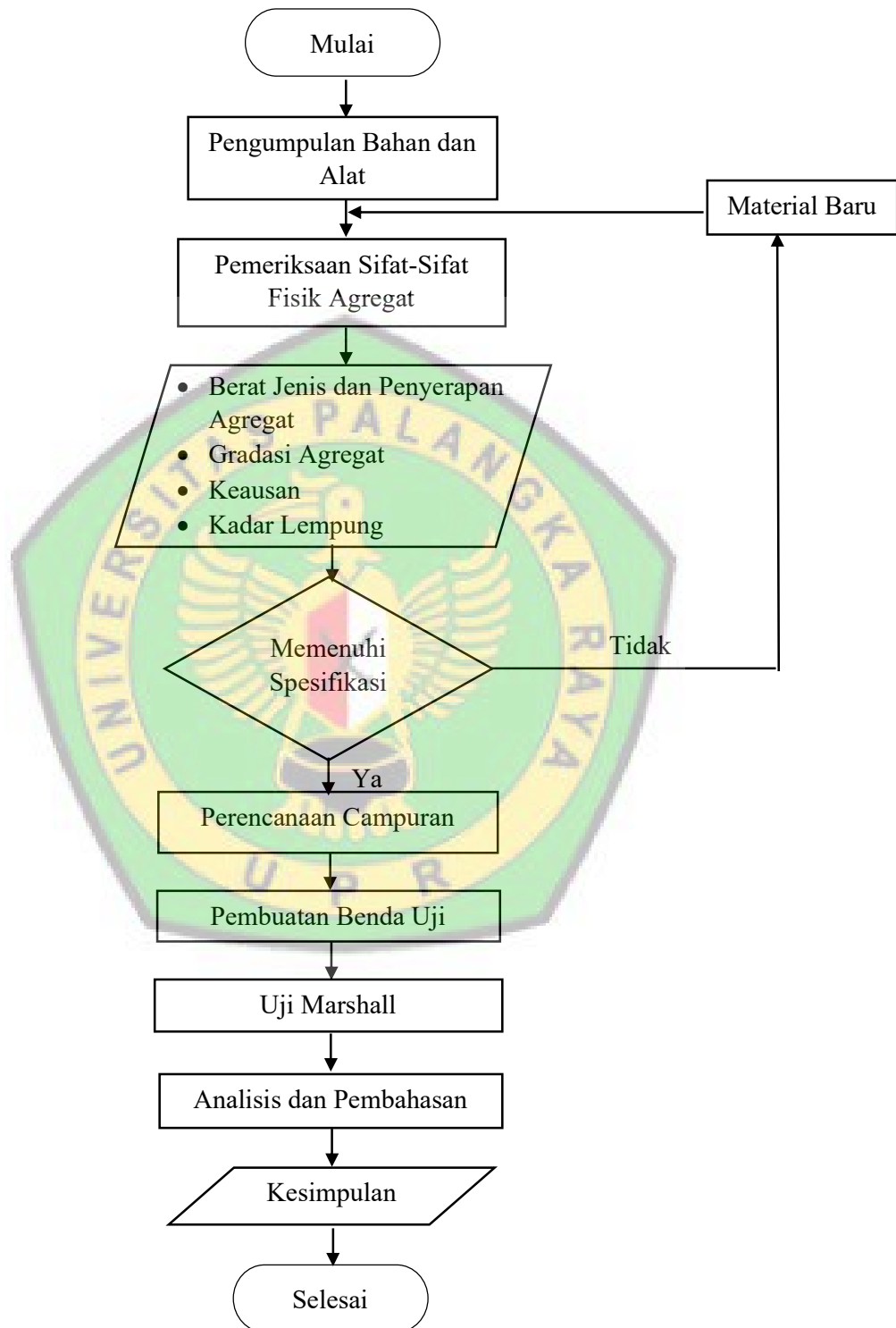
Adapun urutan pelaksanaan tes marshall adalah sebagai berikut :

- 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

3.9 Tahapan penelitian sebagai berikut:

1. Persiapan alat dan bahan.
2. Pemeriksaan sifat-sifat fisik agregat meliputi pengujian analisa saringan, kadar lempung, berat jenis dan penyerapan.
3. Penentuan komposisi benda uji.
4. Pembuatan benda uji meliputi pemanasan, pencampuran, dan pemadatan.
5. Pemeriksaan benda uji dengan test Marshall.
6. Analitis data hasil test Marshall.
7. Kesimpulan.



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 substitusi plastik jenis *High Density Polyethylene (HDPE)*, variasi kadar substitusi plastik sebesar 30%, 35%, 40%, 45% dan 50% 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 substitusi limbah plastik memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Nilai stabilitas tertinggi terdapat pada penambahan kadar plastik 45% yaitu sebesar 1176,696 kg.
- b. Nilai *VMA* untuk semua variasi kadar substitusi limbah plastik memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Nilai *VMA* tertinggi terdapat pada penambahan substitusi kadar plastik 30% yaitu sebesar 21,250 %. Nilai *VMA* menurun seiring dengan penambahan substitusi persentase kadar limbah plastik.
- c. Nilai rongga udara dalam campuran (*VIM*) untuk variasi kadar bahan tambah plastik 30%, 35%, dan 40% memenuhi spesifikasi dan untuk variasi kadar substitusi limbah plastik 45% dan 50% tidak memenuhi spesifikasi. Nilai *VIM* tertinggi yang memenuhi spesifikasi pada kadar substitusi limbah plastik 30%, yaitu sebesar 4,998%. Nilai rongga dalam campuran (*VIM*) yang dihasilkan cenderung menurun dengan substitusi kadar limbah plastik.
- d. Nilai rongga terisi aspal (*VFB*) untuk semua variasi kadar bahan tambah substitusi plastik memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Nilai rongga terisi aspal (*VFB*) tertinggi terdapat pada substitusi kadar limbah plastik 45% yaitu sebesar 88,767%. Nilai rongga terisi aspal meningkat sampai kadar limbah plastik 45%, sedangkan di kadar limbah plastik 50% ada penurunan.
- e. Nilai hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*) untuk semua substitusi variasi kadar limbah plastik memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Nilai hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*) tertinggi terdapat pada

substitusi kadar limbah plastik 30% yaitu sebesar 364,527 kg/mm dan nilai terendah terdapat pada penambahan kadar plastik 50% yaitu sebesar 247,943 kg/mm.

5. Berdasarkan hasil penelitian terhadap parameter karakteristik Marshall dengan substitusi kadar limbah plastik jenis *High Density Polyethylene (HDPE)* yang sudah dilakukan, dibuat grafik hubungan antara parameter Marshall campuran aspal dengan persentase kadar substitusi jenis limbah plastik yang digunakan untuk menentukan nilai kadar plastik optimum. Didapatkan kadar substitusi limbah plastik optimum sebesar 35%.

5.2 Saran

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

1. Penelitian ini dapat dilakukan kembali menggunakan substitusi jenis limbah plastik *High Density Polyethylene (HDPE)* sebagai agregat kasar buatan dengan jumlah persentase kadar plastik yang lebih kecil lagi.
2. Untuk penelitian selanjutnya perlu mempertimbangkan penggunaan jenis limbah plastik selain limbah plastik *High Density Polyethylene (HDPE)* untuk mendapatkan perbandingan beberapa jenis limbah plastik baik dari segi kualitas dan biaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Balitbang dan BBPJM VIII Surabaya (2018), *Penerapan Skala Penuh Teknologi Aspal Limbah Plastik*, Surabaya.
- Bina Marga, (2018), *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) 2020*, 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 (LDPE) 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.*

