

SKRIPSI

**KAJIAN PEMANFAATAN BAHAN PENGIKAT ALTERNATIF UNTUK
MENGURANGI PENGGUNAAN ASPAL PENETRASI 60/70**

Oleh :

SOLEHUDIN
NIM. DAB 116 037



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

**KAJIAN PEMANFAATAN BAHAN PENGIKAT ALTERNATIF
UNTUK MENGURANGI PENGGUNAAN ASPAL PENETRASI 60/70**

SKRIPSI

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

Oleh :

SOLEHUDIN
NIM. DAB 116 037

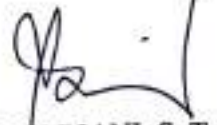
**Disetujui sesuai dengan revisi dalam Form
Rekomendasi dan Berita Acara Ujian Skripsi**

Pembimbing Utama



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

Pembimbing Pendamping



(DESI RIANI, 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

**KAJIAN PEMANFAATAN BAHAN PENGIKAT ALTERNATIF UNTUK
MENGURANGI PENGGUNAAN ASPAL PENETRASI 60/70**

SKRIPSI

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

Oleh :

SOLEHUDIN
NIM. DAB 116 037

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji, pada:

Hari/Tanggal : Rabu, 19 Oktober 2022
Waktu : 09.00 – 11.00 WIB
Tempat : Ruang Sidang (offline)

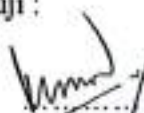
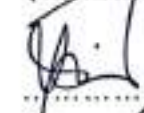


Tim Penguji :

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

2. **DESI RIANI, S.T., M.T.**
NIP. 19791201 200501 2 001

3. **ROBBY, S.T., M.T.**
NIP. 19730326 199903 1 003

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

 (Ketua Penguji/Peng uji 1)
 (Sekretaris/Peng uji 2)
 (Peng uji 3)
 (Peng uji 4)

Mengetahui:


Fakultas Teknik
Universitas Palangka Raya
Dekan,

Ir. WALUYO NUSWANTORO, M.T.
NIP. 19651119 199302 1 001

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

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

BIODATA MAHASISWA

Data Pribadi

Nama : Solehudin
NIM : DAB 116 037
Tempat, Tanggal Lahir : Talio Muara, 28 Februari 1998
Status : Belum Menikah
Agama : Islam
Pekerjaan : Mahasiswa
Alamat di Palangka Raya : Jl. Bangaris/bukit pinang
No. Telp Rumah : -
Alamat Asal : Jl. Sawi 10 RT.22 RW.04 Desa Talio Muara
Email : solehleh3@gmail.com
No.Hp : 0823 5059 8557
No.Wa : 0823 5059 8557
Facebook : -
Instagram : -
Line : -
Nama Ayah : Dulah Mukti
Pekerjaan Ayah : Petani/Pekebun
Alamat : Jl. Sawi 10 RT.22 RW.04 Desa Talio Muara
No.Hp : 0822 5820 0691
Nama Ibu : Kamisah (Alm)
Pekerjaan Ibu : Ibu Rumah Tangga
Alamat : Jl. Sawi 10 RT.22 RW.04 Desa Talio Muara
No.Hp : -
Wali : -



Riwayat Pendidikan*)

- SD : SD Negeri 2 Talio Muara (2004-2010)
- SLTP : MTS Al-Amin Kuala Kapuas (2010-2013)
- SLTA : SMK Negeri 1 Palangka Raya (2013-2016)
- Mulai mengikuti perkuliahan Program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Universitas Palangka Raya bulan September tahun 2016

Palangka Raya, Agustus 2022
Yang membuat pernyataan

SOLEHUDIN
NIM. DAB 116 037

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 DULAH MUKTI dan juga ibu saya (ALMH) KAMISAH , 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 DESI RIANI, 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.

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



SOLEHUDIN

NIM DAB 116 037

RINGKASAN

PEMANFAATAN BAHAN PENGIKAT ALTERNATIF UNTUK MENGURANGI PENGGUNAAN ASPAL PENERTASI 60/70, Solehudin, DAB 116 037, Jurusan/ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

Jalan adalah sarana akses penghubung dari satu tempat ke tempat lain. Agar didapat akses jalan yang baik, maka dari perancangan dan pembangunan jalan harus diperhatikan kualitas pekerjaannya, terlebih pada pekerjaan perkerasan jalan. Penelitian ini mencoba melakukan pemanfaatan limbah plastik, plastik kemasan makanan dan botol-botol lembek yang termasuk dalam jenis plastik *Polyethylene Terephthalate (PET)* yang akan digunakan kembali sebagai bahan pengikat guna mengurangi penggunaan aspal untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan plastik pada campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)* ditinjau dari karakteristik Marshall, dalam penelitian ini pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan pengikat diharapkan dapat merubah sifat-sifat fisik aspal sekaligus salah satu langkah penanganan pengurangan sampah yang sulit terurai dengan peningkatan nilai fungsinya.

Menentukan nilai kadar aspal optimum (KAO) dan nilai karakteristik marshall dari campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)* menggunakan agregat eks Palu dan pasir eks Tangkiling. Menganalisis pengaruh penggunaan plastik jenis *Polyethylene Terephthalate (PET)* sebagai bahan substitusi aspal terhadap nilai karakteristik Marshall. Menentukan kadar plastik *Polyethylene Terephthalate (PET)* maksimum yang dapat digunakan sebagai bahan substitusi aspal dalam campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)*. Penelitian ini menggunakan metode uji laboratorium, yaitu untuk menganalisis penggunaan limbah plastik sebagai substitusi pada aspal 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, *Voids in Mineral Aggregates (VMA)* 20,582%, *Voids in Mix (VIM)* 3,663%, *Voids Filled with Bitumen (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 pengikat alternatif/ plastik jenis *Polyethylene Terephthalate (PET)* yang di dapat dari hasil pengujian laboratorium fakultas Teknik Universitas Palangkaraya adalah 6%. Dan pada pengujian daktilitas maksimum substitusi bahan pengikat alternatif didapat 6%, untuk substitusi 8% dan 10% angka kuat Tarik didapat ≤ 100 cm, maka kurang dari spesifikasi yang di tentukan.

Kata Kunci: *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)*, Kadar Aspal Optimum (KAO), *Polyethylene Terephthalate (PET)*.

SUMMARY

UTILIZATION OF ALTERNATIVE BINDING MATERIALS TO REDUCE THE USE OF ASPHALT PENERTATION 60/70, Solehudin, DAB 116 037, Department/Study Program of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Palangka Raya.

Road is a means of connecting access from one place to another. In order to obtain good road access, from the design and construction of roads, the quality of the work must be considered, especially in the work of road pavements. This study tries to utilize plastic waste, food packaging plastics and soft bottles which are included in the type of Polyethylene Terephthalate (PET) plastic which will be reused as a binder in order to reduce the use of asphalt to find out how big the effect of adding plastic to the Hot Rolled Sheet mixture is. Wearing Course (HRS-WC) in terms of Marshall characteristics, in this study the use of plastic waste as a binder is expected to change the physical properties of asphalt as well as one of the steps to reduce waste that is difficult to decompose by increasing its function value.

Determine the value of optimum asphalt content (OAC) and the value of marshall characteristics of the Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC) mixture using ex Palu aggregate and ex Tangkiling sand. Analyzing the effect of using Polyethylene Terephthalate (PET) plastic as a substitute for asphalt on the value of Marshall characteristics. This study uses a laboratory test method, namely to analyze the use of plastic waste as a substitute for asphalt 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 (OAC) the Marshall parameter values obtained for each composition are as follows: In composition I with Optimum Asphalt Content (OAC) of 7.3%, the stability value is 936.547 kg, Voids in Mineral Aggregates (VMA) 20.582%, Voids in Mix (VIM) 3,663%, Voids Filled with Bitumen (VFB) 82,222% and Marshall quotient 291,716 kg/mm. The maximum added content for the Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC) mixture of alternative binder materials/plastic type polyethylene terephthalate (PET) obtained from the results of laboratory testing of the Faculty of Engineering, University of Palangkaraya is 6%. And in the maximum ductility test, substitution of alternative binder materials was obtained 6%, for substitution of 8% and 10% the tensile strength figure was obtained 100 cm, which is less than the specified specifications.

Keywords: Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC), Optimum Asphalt Content (OAC), Polyethylene Terephthalate (PET).

PRAKATA

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

Ujian Skripsi dengan judul **“KAJIAN PEMANFAATAN BAHAN PENGIKAT ALTERNATIF UNTUK MENGURANGI PENGGUNAN ASPAL PENETRASI 60/70”** 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 diucapkan terima kasih 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 Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
7. Bapak Ir. Desriantomy, M.T. Selaku Dosen Ketua Penguji/ Penguji 1 Skripsi.

8. Ibu Desi Riani, S.T., M.T. Selaku Dosen Sekretaris Penguji 2 Skripsi.
9. Bapak Robby, S.T., M.T. Selaku Dosen Penguji 3 Skripsi.
10. Ibu Murniati, S.T., M.T. Selaku Dosen Penguji 4 Skripsi.
11. Ibu Veronika Happy P., S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
12. Seluruh Dosen Jurusan/Program Studi Teknik Sipil beserta Staf Tata Usaha Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
13. Teman-teman Mahasiswa Fakultas Teknik khususnya keluarga besar Teknik Sipil 2016 dan semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung membantu dalam penyelesaian Skripsi ini.

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

Palangka Raya, Oktober 2022

SOLEHUDIN
NIM. DAB 116 037

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PERSETUJUAN	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
BIODATA PENULIS.....	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN	i
SURAT PERNYATAAN	ii
RINGKASAN	iii
SUMMARY	iv
PRAKATA	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Lokasi Penelitian	6
1.7 Lokasi Pengambilan Material	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Perkerasan Jalan	8
2.2 Lapis Permukaan (<i>Surface Course</i>)	10

2.3	<i>Hot Rollet Sheet</i> (HRS)	12
2.4	Agregat	14
	2.4.1 Agregat Kasar	14
	2.4.2 Agregat Halus	15
	2.4.3 Mineral Pengisi (<i>filler</i>)	16
2.5	Aspal	17
2.6	Campuran Aspal	20
2.7	Metode Perencanaan Campuran	24
2.8	Perencanaan Campuran Pembentukan Lataston Lapis Aus (Hot Rolled Sheet-Wearing Course)	29
	2.8.1 Pengujian Material	30
	2.8.2 Penentuan Gradasi Agregat	30
	2.8.3 Estimasi Kadar Aspal Awal	30
	2.8.4 Kriteria perencanaan Campuran LLA (<i>HRS-WC</i>)	31
2.9	Plastik jenis <i>PET</i> Sebagai Bahan Pengikat Untuk Mengurangi Penggunaan Aspal	32
2.10	Pengujian Marshall	35
2.11	Kajian Terhadap Penelitian Terdahulu	41
BAB III METODE PENELITIAN		46
3.1	Umum	46
3.2	Pengambilan Material	46
3.3	Pengambilan Data sampel	46
3.4	Bahan Penelitian	47
3.5	Alat-alat Penelitian	48
	3.5.1 Alat Untuk Mengukur Sifat Fisik Agregat	48
	3.5.2 Alat Pembuatan dan Pemeriksaan Benda Uji	51
3.6	Waktu dan Tempat Penelitian	52
3.7	Cara Penelitian	52
	3.7.1 Pemeriksaan Daktilitas Aspal	52

3.7.2	Pemeriksaan Sifat – Sifat Fisik Agregat	54
3.7.3	Pemeriksaan Gradasi Agregat	54
3.7.4	Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	55
3.7.5	Pengujian Keausan Agregat Kasar	58
3.7.6	Pemeriksaan Kadar Lempung Agregat Halus	60
3.8	Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>)	61
3.8.1	Penentuan Proporsi Campuran Terhadap Total Agregat	62
3.8.2	Pembuatan Benda Uji dengan Bahan Substitusi Plastik Jenis <i>Polietilena Tereftalat (PET)</i>	63
3.8.3	Pemeriksaan Benda Uji (Tes Marshall)	65
3.9	Tahap Penelitian	69
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		70
4.1	Pelaksanaan Pengujian di Laboratorium	70
4.1.1	Pengujian Daktilitas Aspal Penetrasi 60/70 Dengan Substitusi Plastik Jenis <i>PET</i>	70
4.1.2	Pengujian Sifat – sifat Fisik Agregat	71
4.1.3	Perencanaan Campuran	72
4.2	Pengujian Marshall	77
4.2.1	Persiapan Pengujian Marshall	77
4.2.2	Perhitungan Pengisian Tabel Pengujian Marshall ..	77
4.3	Analisis Hasil Pengujian Marshall dengan Variasi Kadar Aspal	80
4.3.1	Hubungan Stabilitas terhadap Kadar Aspal	81
4.3.2	Hubungan Rongga Antar Agregat (VMA) terhadap Variasi Kadar Aspal	82
4.3.3	Hubungan Rongga Udara dalam Campura (<i>Void In Mixture/VIM</i>) terhadap Variasi Kadar Aspal	83
4.3.4	Hubungan Rongga Terisi Aspal (<i>Void Filled With Bitumen/VFB</i>) terhadap Variasi Kadar Aspal	84

4.3.5 Hubungan Hasil Bagi Marshall (<i>marshall Quotient</i>) terhadap kadar aspal	85
4.4 Analisis Hasil Pengujian Marshall Dengan Variasi Kadar Aspal Terhadap Substitusi Plastik Jenis PET	88
4.4.1 Hubungan Stabilitas terhadap Variasi Substitusi Kadar Plastik	90
4.4.2 Hubungan Rongga Antar Agregat (VMA) terhadap Variasi Substitusi Plastik Jenis <i>PET</i>	91
4.4.3 Hubungan Rongga Udara dalam Campuran (<i>Void In Mixture/VIM</i>) terhadap Variasi Substitusi <i>PET</i>	92
4.4.4 Hubungan Rongga Terisi Aspal (<i>Voids Filled With Bitumen/VFB</i>) terhadap Variasi Substitusi Plastik <i>PET</i>	93
4.4.5 Hubungan Hasil Bagi Marshall (<i>Marshall Quotient</i>) terhadap Variasi substitusi Plastik <i>PET</i>	94
BAB V PENUTUP	97
5.1 Kesimpulan	97
5.2 Rekomendasi	98
DAFTAR PUSTAKA	99
LAMPIRAN	101

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Perbedaan Antara Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku.....	9
2.2 Ketentuan Agregat Kasar.....	15
2.3 Ketentuan Agregat Halus.....	16
2.4 Ketentuan Bahan Aspal Untuk Campuran Beraspal.....	19
2.5 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Lataston.....	31
2.6 Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal.....	32
2.7 Tipe-tipe Polimer.....	33
3.1 Pembuatan Benda Uji Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	63
3.2 Jumlah Benda Uji Menggunakan Bahan Substitusi Limbah Plastik <i>PET</i> ..	65
4.1 Hasil Analisa Saringan Masing-masing Agregat.....	71
4.2 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Masing-masing Agregat.....	72
4.3 Hasil Perhitungan Gradasi Gabungan Cara Diagonal.....	72
4.4 Hasil Perhitungan Gradasi Gabungan Cara <i>Trial and Error</i>	73
4.5 Rencana Komposisi Campuran.....	76
4.6 Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan terhadap Total Agregat.....	78
4.7 Hasil Pengujian Parameter Karakteristik Marshall.....	81
4.8 Nilai Parameter Karakteristik Marshall pada Kadar Aspal Optimum.....	88
4.9 Rencana Komposisi Campuran dengan Variasi Persentase Bahan Substitusi Plastik Jenis <i>polyethylene Terephthalate (PET)</i>	89
4.10 Hasil Pengujian Karakteristik Marshall dengan Substitusi Plastik Jenis <i>polyethylene Terephthalate (PET)</i>	89
4.11 Nilai Parameter Marshall pada Kadar Plastik Maksimum.....	95
4.12 Perbandingan Nilai Parameter Marshall Campuran Tanpa Plastik dan dengan Menggunakan Kadar Substitusi Plastik Maksimum	96

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1.1 Lokasi Penelitian	6
1.2 Lokasi Pengambilan Material Agregat Kasar	6
1.3 Lokasi Pengambilan Material Agregat Halus	7
1.4 Lokasi Pengambilan Material Plastik	7
3.1 Bagan Alir Penelitian.....	68
4.1 Grafik Hubungan Daktilitas Aspal terhadap Variasi Substitusi limbah Plastik	70
4.2 Grafik Gradasi Gabungan Cara Diagonal	73
4.3 Grafik Gradasi Gabungan Cara Trial and Error	74
4.4 Grafik Hubungan Stabilitas terhadap Variasi Kadar Aspal	81
4.5 Grafik Hubungan Rongga antar Agregat (<i>VMA</i>) terhadap Variasi Kadar Aspal.....	82
4.6 Grafik Hubungan Rongga antar Agregat (<i>VIM</i>) terhadap Variasi Kadar Aspal.....	84
4.7 Grafik Hubungan Rongga antar Agregat (<i>VFB</i>) terhadap Variasi Kadar Aspal.....	85
4.8 Grafik Hubungan Nilai Hasil Bagi Marshall terhadap Variasi Kadar Aspal	86
4.9 Grafik Hubungan Nilai Parameter Marshall terhadap Kadar Aspal Optimum (KAO).....	87
4.10 Grafik Hubungan Stabilitas terhadap Variasi Penambahan Agregat Kasar Buatan <i>HDPE</i>	90
4.11 Grafik Hubungan Rongga antar Agregat (<i>VMA</i>) terhadap Variasi Terhadap Variasi Penambahan Agregat Kasar Buatan <i>HDPE</i>	91
4.12 Grafik Hubungan Rongga Udara dalam Campuran (<i>VIM</i>) terhadap Variasi Terhadap Variasi Agregat Kasar Buatan <i>HDPE</i>	92
4.13 Grafik Hubungan Rongga Terisi Aspal (<i>VFB</i>) terhadap Variasi Terhadap Variasi Penambahan Agregat Kasar Buatan <i>HDPE</i>	93
4.14 Grafik Hubungan Nilai Hasil Bagi Marshall terhadap Variasi	

	Penambahan Kadar Plastik.....	94
4.15	Grafik Hubungan Nilai Parameter Marshall terhadap Variasi Substitusi Agregat Kasar Buatan Limbah Plastik Jenis <i>HDPE</i> Terhadap Kadar Aspal Optimum (KAO).....	95
L21.1	Lokasi Pengambilan Material Agregat Kasar eks. Palu	122
L21.2	Lokasi Pengambilan Pasir eks. Tangkiling.....	122
L21.3	Lokasi Pengambilan Limbah Plastik	123
L21.4	Pencucian Material	123
L21.5	Pencucian Limbah Plastik	124
L21.6	Proses Pengeringan Limbah Plastik	124
L21.7	Analisis Saringan Agregat Kasar Eks. Palu.....	125
L21.8	Pengayakan Agregat Kasar Uji Keausan.....	125
L21.9	Penimbangan Gabungan Agregat Sesuai dengan Porsinya	126
L21.10	Proses Pencampuran Agregat dan Aspal	126
L21.11	Pengecekan Suhu Pematatan	127
L21.12	Pematatan Briket/Benda Uji	127
L21.13	Mengeluarkan Benda Uji dengan <i>Extruder</i>	128
L21.14	Penimbangan Benda Uji untuk Berat Kering	128
L21.15	Briket/Benda Uji Kering.....	129
L21.16	Perendaman Briket/Benda Uji	129
L21.17	Penimbangan Briket/Benda Uji untuk Berat Dalam Air	130
L21.18	Penimbangan Briket/Benda Uji untuk Berat Jenuh	130
L21.19	Perendaman Briket/Benda Uji dalam Water Bath.....	131
L21.20	Uji Marshall.....	131
L21.21	Uji Daktilitas.....	132

DAFTAR LAMPIRAN

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

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan adalah sarana akses penghubung dari satu tempat ke tempat lain. Agar didapat akses jalan yang baik, maka dari perancangan dan pembangunan jalan harus diperhatikan kualitas pekerjaannya, terlebih pada pekerjaan perkerasan jalan. Perkerasan pekerjaan jalan dihadapkan dengan kualitas dan kuantitas yang harus memanfaatkan sumber daya secara efisien, efektif, dan ramah lingkungan. Indonesia merupakan negara yang mempunyai temperatur yang tinggi hal ini menjadi salah satu faktor penyebab kerusakan pada lapisan perkerasan lentur yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat.

Salah satu solusi mencegah kerusakan dini pada perkerasan jalan akibat temperatur suhu tinggi, beban muatan, dan pengaruh air hujan yaitu dengan menambah bahan aditif. Salah satu jenis campuran perkerasan lentur yaitu Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston), bergradasi senjang dengan kadar aspal yang relatif tinggi. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan jalan dengan kelenturan dan keawetan yang cukup baik agar tidak menimbulkan kerusakan retak atau pelepasan butir seperti yang sering terjadi pada lapis aspal beton (Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, 2018). Lataston sebagai lapis aus, dikenal dengan *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)* berfungsi sebagai lapisan kedap air, tahan terhadap terbentuknya alur, mempunyai kehalusan permukaan, mampu menyalurkan beban, dan mempunyai tahanan gelincir.

Di sisi lain keberadaan plastik melimpah, plastik sangat bermanfaat di kehidupan sehari-hari. Namun limbah plastik juga mempunyai dampak negatif, karena plastik mempunyai sifat sulit terurai yang membutuhkan waktu kurang lebih 500 tahun. Karena proses penguraian yang lama maka dapat mencemarkan lingkungan sekitar. Maka terjadilah penumpukan limbah plastik yang banyak seperti dari sisa kemasan makanan ringan, gelas minuman, kantong plastik. Secara langsung dari limbah plastik tersebut merusak lingkungan sekitar. Ini juga merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang harus dicari alternatif untuk mengatasinya. Berdasarkan data dari Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman Provinsi Kalimantan Tengah, jumlah sampah yang ada di kota Palangka Raya pada tahun 2019 mencapai 920,94 m³ perhari atau sekitar 138.141,50 kg perhari yang diantaranya terdiri dari 65% sampah Anorganik dan 35% sampah Organik.

Untuk meningkatkan kualitas perkerasan jalan, dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satu cara tersebut adalah dengan penambahan bahan substitusi aspal ketika proses pencampuran material di *Asphalt Mixing Plant (AMP)* yang dikenal juga dengan sebutan aspal modifikasi. Aspal modifikasi (*Polymer Modified Asphalt/PMA, Polymer Modified Bitumen/PMB, Aspal Modifikasi*) adalah aspal minyak ditambah dengan bahan tambah/*additive* untuk meningkatkan kinerjanya. Bahan aditif pada aspal modifikasi yaitu plastomer, elastomer, polimer, *asphalten*, serat selulosa dan *re-used tyre rubber* (Soehartono, 2015). Pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan substitusi pada aspal dapat dilakukan karena beberapa kelebihan diantaranya mengurangi biaya produksi dan dapat mengurangi pencemaran dari limbah plastik.

Penelitian ini mencoba melakukan pemanfaatan limbah plastik, plastik kemasan makanan dan botol-botol lembek yang termasuk dalam jenis plastik *Polyethylene Terephthalate (PET)* yang akan digunakan kembali sebagai bahan pengikat guna mengurangi penggunaan aspal untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan plastik pada campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)* ditinjau dari karakteristik Marshall, dalam penelitian ini pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan pengikat diharapkan dapat merubah sifat-sifat fisik aspal sekaligus salah satu langkah penanganan pengurangan sampah yang sulit terurai dengan peningkatan nilai fungsinya.



1.2 Rumusan Masalah

Bedasarkan uraian diatas didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa nilai kadar aspal optimum (KAO) dan nilai karakteristik marshall yang dihasilkan dari campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC) menggunakan agregat eks Palu dan pasir eks Tangkiling.
2. Bagaimana pengaruh penggunaan plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebagai bahan substitusi aspal terhadap nilai karakteristik Marshall.
3. Berapa kadar plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET) maksimum yang dapat digunakan sebagai bahan substitusi aspal dalam campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC).

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang diharapkan dari penelitian ini:

1. Menentukan nilai kadar aspal optimum (KAO) dan nilai karakteristik marshall dari campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC) menggunakan agregat eks Palu dan pasir eks Tangkiling.
2. Menganalisis pengaruh penggunaan plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebagai bahan substitusi aspal terhadap nilai karakteristik Marshall.
3. Menentukan kadar plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) maksimum yang dapat digunakan sebagai bahan substitusi aspal dalam campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC).

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Pemeriksaan sifat-sifat agregat berdasarkan metode dan standar Bina Marga.
2. Aspal yang digunakan adalah aspal keras dengan penetrasi 60/70.
3. Bahan tambah untuk mengurangi aspal yang digunakan adalah plastik jenis *Polyethylene Terephthalate (PET)*, dicacah menggunakan alat pencacah plastik tipe PLT 60-D dengan ukuran hasil cacahan panjang dan lebar kurang dari 1 cm atau 100% lolos saringan 3/8'' dan 90% lolos saringan No.4, kemudian dicampurkan bersamaan dengan campuran aspal dan agregat yang dipanaskan.
4. Cacahan plastik yang digunakan harus dalam keadaan kering dan bersih.
5. Pengujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana manfaat penggunaan plastik bekas yang ada di sekitar kita sebagai substitusi bahan pengikat pada campuran aspal panas yang dimaksudkan untuk meningkatkan mutu perkerasan lentur jalan raya dan juga sekaligus salah satu langkah penanganan untuk mengurangi sampah yang sulit terurai dengan peningkatan nilai fungsinya.

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.

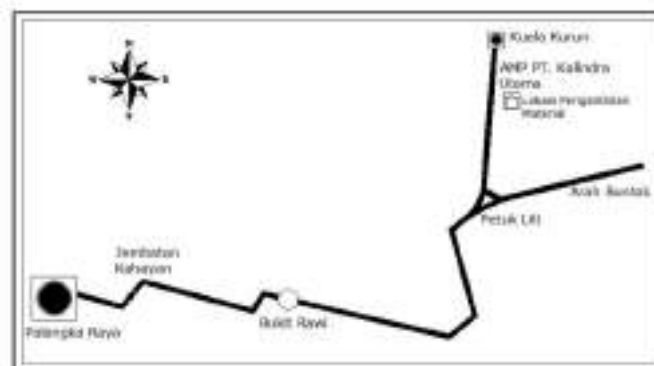


Gambar 1.1 Lokasi Penelitian

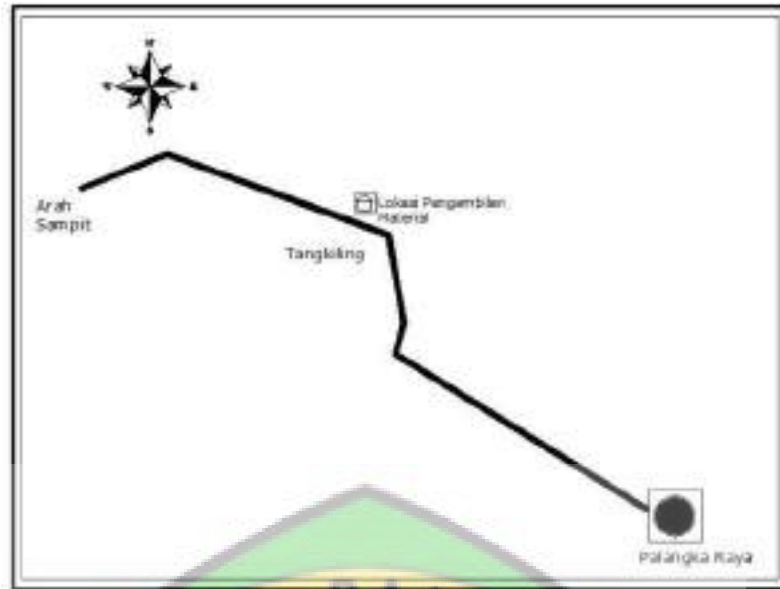
Sumber : Google Earth (2021)

1.7 Lokasi Pengambilan Material

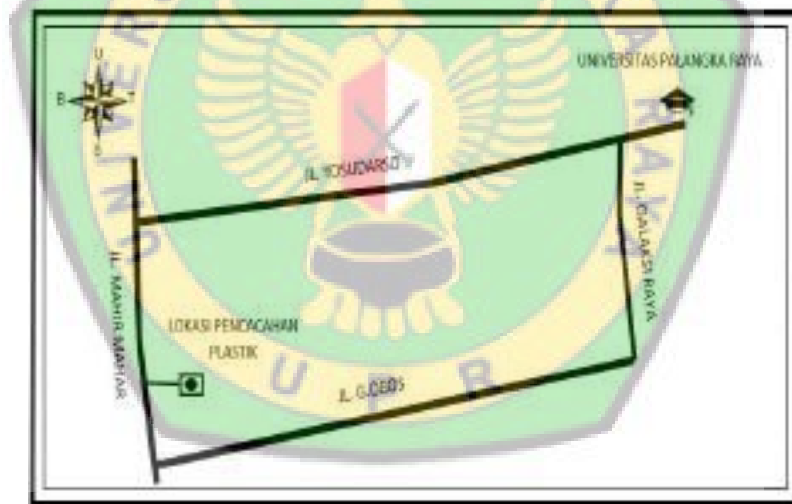
Pengambilan Material berupa agregat kasar dan abu batu ex. Palu pada *stockfile* yang berada di *Asphalt Mixing Plant* (AMP) PT. Kalindra Utama Jalan Trans Kalimantan Palangka Raya-Kuala Kurun Desa Bahu Palawa Kabupaten Pulang Pisau dan Pengambilan Material agregat halus dari Tangkiling, Kecamatan Bukit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



Gambar 1.2 Sketsa Lokasi Pengambilan Material Agregat Kasar



Gambar 1.3 Sketsa Lokasi Pengambilan Material Agregat Halus



Gambar 1.4 Sketsa Lokasi Pencacahan 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 (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 perkerasan jalan dibedakan atas tiga macam, yaitu:

1. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Mengadopsi model Makadam dengan bahan penutup (*surfacing*) dari campuran aspal agregat. Bahan konstruksi perkerasan lentur terdiri atas bahan ikat (aspal, tanah liat) dan batu. Perkerasan ini umumnya terdiri atas tiga lapis yaitu lapisan tanah dasar (*subgrade*), lapisan pondasi bawah (*sub-base*), lapis pondasi (*base*) dan lapisan penutup (*surface*). Masing-

masing elemen lapisan di atas termasuk tanah dasar secara bersama-sama memikul beban lalu-lintas. Dari atas sampai bawah maka tebal lapisan menjadi semakin besar, hal ini seiring dengan harga materialnya yang semakin kebawah semakin murah.

2. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Digunakannya pelat beton diatas lapisan agregat, diatas pelat beton tersebut dapat dilapisi aspal agregat atau aspal pasir yang tipis atau tidak. ada lapisan sama sekali. Bagian dari perkerasan kaku terdiri dari tanah dasar (*subgrade*), lapisan pondasi bawah (*sub-base*), lapisan beton (*blinding concrete*/beton lantai kerja), lapisan pelat beton (*concrete slab*), dan lapisan aspal agregat/aspal pasir yang bisa ada bisa tidak (Sukirman, 2003).

Perbedaan utama antara perkerasan lentur dan kaku dapat terlihat pada Tabel 2.1 di bawah 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 Timbul tegangan dalam yang kecil	Modulus kekakuan tidak berubah Timbul tegangan dalam yang besar

Sumber: Sukirman (2003)

2.2 Lapis Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan yang terletak paling atas disebut lapis permukaan dan berfungsi sebagai:

1. Lapis perkerasan penahan beban roda, lapis ini mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
2. Lapis kedap air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan di bawahnya dan melemahkan lapisan-lapisan tersebut.
3. Lapis aus (*wearing course*), lapis yang langsung menerima gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
4. Lapis yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain yang mempunyai daya dukung relatif rendah.

Untuk dapat memenuhi fungsi tersebut di atas, pada umumnya lapis permukaan dibuat dengan menggunakan bahan pengikat aspal sehingga menghasilkan lapisan yang kedap air dengan stabilitas tinggi dan daya tahan yang lama. Jenis lapis permukaan yang umum dipergunakan di Indonesia antara lain:

1. Lapisan bersifat *non*-struktural, berfungsi sebagai lapisan aus kedap air.

Lapisan ini terdiri dari:

- a. Burtu (laburan aspal satu lapis), merupakan lapis penutup yang terdiri atas lapisan aspal yang ditaburi dengan satu lapis agregat bergradasi seragam dengan tebal maksimum 2 cm.
- b. Burda (laburan aspal dua lapis), merupakan lapis penutup yang terdiri atas lapisan aspal ditaburi agregat yang dikerjakan dua kali secara berurutan dengan tebal padat maksimum 3,5 cm.

- c. Latasir (lapis tipis aspal pasir), merupakan lapis penutup yang terdiri atas lapisan aspal dan pasir alam bergradasi menerus dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu dengan tebal padat 1-2 cm.
- d. Buras (laburan aspal), merupakan lapis penutup terdiri atas lapisan aspal taburan pasir dengan ukuran butir maksimum 3/8 inci.
- e. Latasbum (lapisan tipis asbuton murni), merupakan lapis penutup yang terdiri atas campuran asbuton dan bahan pelunak dengan perbandingan tertentu yang dicampur secara dingin dengan tebal maksimum 1 cm.
- f. Lataston (lapis tipis aspal beton), dikenal dengan nama *Hot Rolled Sheet (HRS)*, merupakan lapisan penutup yang terdiri atas campuran antara agregat bergradasi timpang, mineral pengisi (*filler*) dan aspal keras dengan perbandingan tertentu, yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas. Lapis ini memiliki tebal padat antara 2,5-3 cm.

Walaupun jenis lapisan permukaan di atas bersifat non-struktural, lapisan permukaan tersebut dapat menambah daya tahan perkerasan terhadap penurunan mutu, sehingga secara keseluruhan dapat menambah masa pelayanan dari konstruksi perkerasan. Jenis perkerasan ini digunakan untuk pemeliharaan jalan.

2. Lapisan bersifat struktural, berfungsi sebagai lapisan yang menahan dan menyebarkan beban roda. Lapisan ini terdiri dari:
 - a. Penetrasi macadam (lapen), merupakan lapis perkerasan yang terdiri atas agregat pokok dan agregat pengunci bergradasi terbuka dan seragam yang diikat oleh aspal dengan cara disemprotkan di atasnya dan dipadatkan lapis demi lapis. Di atas lapen ini biasanya diberi laburan

- aspal dengan agregat penutup. Tebal satu lapis dapat bervariasi dari 4-10 cm.
- b. Lasbutag merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri atas campuran antara agregat, asbuton dan bahan pelunak yang diaduk, dihampar dan dipadatkan secara dingin. Tebal padat tiap lapisannya antara 3-5 cm.
 - c. Laston (lapis tipis aspal beton), merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri atas campuran aspal keras dan agregat yang mempunyai gradasi menerus, dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu.

2.3 *Hot Rolled Sheet (HRS)*

Lapis tipis aspal beton (laston), atau dikenal dengan nama *Hot Rolled Sheet (HRS)* merupakan lapisan penutup yang terdiri dari campuran antara agregat yang bergradasi timpang, mineral pengisi (*filler*) dan aspal keras dengan perbandingan tertentu, yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas, tebal padat antara 2,5 – 3 cm (Sukirman, 2003).

Pada kurun waktu beberapa tahun belakangan ini, *Hot Rolled Sheet (HRS)* telah banyak digunakan di Indonesia sebagai lapisan permukaan karena sifatnya yang kedap air serta tahan lama. Dengan sifat agregatnya yang bergradasi senjang dan mengandung sangat sedikit agregat yang berukuran sedang, sehingga campuran tersebut dapat menyerap kadar aspal yang relatif tinggi. Hal ini menyebabkan *Hot Rolled Sheet (HRS)* ini juga memberikan suatu permukaan yang sanggup menerima beban tanpa retak.

Rancangan campuran perkerasan aspal meliputi pemilihan jenis aspal, pemilihan material agregat serta penentuan proporsi yang optimum dari agregat dan

aspal didalam campuran. Rancangan campuran ini harus mempertimbangkan sifat-sifat kekuatan, ketahanan terhadap retak, ketahanan terhadap kelelahan, kelenturan, kekesatan, kedap air dan mudah dikerjakan.

Tujuan keseluruhan dari rancangan campuran perkerasan aspal adalah mendapatkan hasil yang efektif dari campuran yang dihasilkan, sehingga memiliki:

1. Aspal yang cukup untuk menjamin keawetan perkerasan.
2. Stabilitas campuran yang cukup untuk memenuhi kebutuhan lalu lintas tanpa terjadi kerusakan atau penurunan.
3. Rongga yang cukup didalam total campuran yang telah dipadatkan untuk menyediakan sedikit penambahan pemadatan oleh beban lalu lintas dan untuk menyediakan sedikit ruang pemekaran aspal akibat kenaikan suhu tanpa terjadi pembilasan, *bleeding* dan kehilangan stabilitas.
4. Membatasi kadar rongga untuk membatasi permeabilitas bahan terhadap masuknya udara dan kelembaban yang sangat berbahaya kedalam perkerasan.
5. Kemudahan pengerjaan yang cukup untuk memberikan kemudahan dan efisiensi didalam penghamparan tanpa terjadi segregasi dan tanpa mengorbankan stabilitas dan performanya.
6. Untuk campuran lapis permukaan, agregat harus memiliki tekstur permukaan dan kekerasan untuk menyediakan tahan gesek yang cukup pada kondisi cuaca buruk.

2.4 Agregat

Agregat adalah suatu bahan yang terdiri dari mineral padat dan kaku yang digunakan sebagai bahan campuran agregat aspal yang berupa berbagai jenis butiran-butiran atau pecahan yang termasuk didalamnya antara lain pasir, kerikil, batu pecah atau kombinasi material lain yang digunakan dalam campuran aspal buatan. Proporsi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*) didasarkan kepada spesifikasi dan gradasi yang tersedia. Jumlah agregat didalam campuran aspal biasanya 90 sampai 95 persen dari berat, atau 75 sampai 85 persen dari volume dan memberikan kontribusi biaya, berkisar 30% dari biaya keseluruhan pembangunan jalan. Didalam *Hot Rolled Sheet (HRS)*, agregat kasar digunakan untuk pengembangan volume mortar sehingga campuran menjadi lebih ekonomis, juga untuk mendukung beban lalu lintas.

Agregat dapat diperoleh secara alami atau buatan. Agregat yang terjadi secara alami adalah pasir, kerikil dan batu. Kebanyakan agregat memerlukan beberapa proses seperti dipecah, dicuci sebelum agregat tersebut bisa digunakan. Agregat dikelompokkan menjadi 3 (tiga), yaitu:

2.4.1 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 2, 2018).

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 ¹⁾	Campuran AC Modifikasi	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks.6%
		500 putaran		Maks.30%
	Semua jenis aspal bergradasi lainnya	100 putaran		Maks.8%
		500 putaran		Maks.40%
Kelekatan agregat terhadap aspal			SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar			SNI 7619:2012	95/90 ^{*)}
Partikel Pipih dan Lonjong			ASTM D4791 Perbandingan 1:5	Maks. 10%
Material lolos Ayakan No.200			SNI 03-4142-1996	Maks. 2%

Sumber: Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2 (2020)

2.4.2 Agregat Halus

Agregat halus dapat berupa pasir, batu pecah atau kombinasi dari keduanya. Agregat halus adalah material yang pada prinsipnya lewat saringan atau ayakan No.8 (2,36 mm) (Bina Marga Revisi 2, 2018). Fungsi utama agregat halus adalah mendukung stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari campuran melalui ikatan (*interlocking*) dan gesekan antar partikel. Berkenaan dengan hal ini, sifat-sifat khas yang diperlukan dari agregat adalah sudut permukaan, kekasaran permukaan, bersih 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.

Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 60%
Angularitas dengan Uji Kadar Rongga	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Agregat Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

Sumber: Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2 (2020)

2.4.3 Mineral Pengisi (*filler*)

Bahan pengisi yang ditambahkan terdiri atas debu kapur (*limestone dust*, *Calcium Carbonate*, $CaCO_3$) atau debu kapur padam yang sesuai dengan AASHTO M303-89 (2006), semen atau mineral yang berasal dari asbuton yang sumbernya disetujui oleh Direksi Pekerjaan. Jika digunakan aspal modifikasi dari jenis asbuton yang diproses maka bahan pengisi yang ditambahkan haruslah berasal dari mineral yang diperoleh dari asbuton tersebut. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering serta bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI 03-1968-1990 harus mengandung bahan yang lolos ayakan no.200 (75 mikron) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya dan bersifat non plastis. Kapur yang tidak terhidrasi atau terhidrasi sebagian dapat digunakan sebagai bahan pengisi yang ditambahkan dengan proporsi maksimum yang diijinkan adalah 1,0% dari berat total campuran beraspal. Kapur yang seluruhnya terhidrasi yang dihasilkan dari pabrik yang disetujui, dapat digunakan maksimum 2% terhadap berat total agregat (Bina Marga Revisi 2, 2020).

2.5 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai suatu cairan yang lekat atau berbentuk padat, yang terdiri dari *hydrocarbons* atau turunannya, terlarut dalam *trichloro-ethylene* dan bersifat tidak mudah menguap serta lunak secara bertahap jika dipanaskan. Aspal berwarna hitam atau kecoklatan, memiliki sifat kedap air dan *adhesive* (*British Standart, 1989*).

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 viskositasnya, sedangkan pada sebagian besar kondisi saat masa pelayanan, aspal mempunyai sifat viskositas yang diwujudkan dalam suatu nilai modulus kekakuan.

Sedangkan sifat aspal lainnya adalah:

1. Aspal mempunyai sifat mekanis (*Rheologic*), 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 temperatur 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. Meskipun aspal hanya merupakan bagian yang kecil dari komponen campuran beraspal, namun merupakan bagian terpenting untuk menyediakan ikatan yang awet/tahan lama (*durable*) dan menjaga campuran tetap dalam kondisi kental yang elastis. Adapun beberapa kualitas yang harus dimiliki oleh aspal untuk menjamin performa yang memuaskan, secara mendasar adalah *rheology*, kohesi, adhesi dan durabilitas.

Fungsi aspal dalam campuran agregat aspal adalah sebagai bahan pengikat yang bersifat *visco-elastis* dengan tingkat viskositas yang tinggi selama masa layan dan berfungsi sebagai pelumas pada saat penghamparan di lapangan sehingga mudah untuk dipadatkan.

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.

Terdapat bermacam-macam tingkat penetrasi aspal yang dapat digunakan dalam campuran agregat aspal, antara lain 40/50, 60/70, 80/100. Dalam pemilihan jenis aspal yang akan digunakan pada daerah yang beriklim panas sebaiknya aspal dengan indeks penetrasi yang rendah, dalam rangka mencegah aspal menjadi lebih kaku dan mudah pecah (*brittle*). Umumnya aspal yang digunakan di Indonesia adalah aspal dengan penetrasi 80/100 dan penetrasi 60/70.

Fungsi kandungan aspal dalam campuran juga berperan sebagai selimut penyelubung agregat dalam bentuk tebal film aspal yang berperan menahan gaya geser permukaan dan mengurangi kandungan pori udara yang lebih lanjut, juga berarti mengurangi penetrasi air dalam campuran.

Persyaratan umum untuk aspal panas harus memenuhi persyaratan seperti ada pada tabel 2.4 berikut:

Tabel 2.4 Ketentuan Bahan Aspal untuk Campuran Beraspal

No.	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen.60-70	Tipe II Aspal yang Dimodifikasi	
				A ⁽¹⁾	B
				Asbuton yg diproses	Elastomer Sintetis
1.	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60 – 70	Min.50	Min.40
2.	Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s)	SNI 06-6441-200	160 - 240	240 - 360	320 – 480
3.	Viskositas Kinematis 135°C (eSt)	SNI 06-6441-2000	≥ 300	385-2000	≤ 300
4.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48	≥ 53	≥ 54
5.	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2434:2011	≥ 100	≥ 100	≥ 100
6.	Titik Nyala (°C)	SNI 2434:2011	≥ 232	≥ 232	≥ 232
7.	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-03	≥ 99	≥ 90 ⁽¹⁾	≥ 99
8.	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0	≥ 1,0	≥ 1,0
9.	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976 part 6.1	-	≤ 2,2	≤ 2,2

10	Partikel yang lebih halus dari 150 micron (%)			Min.95 ⁽¹⁾	-
----	---	--	--	-----------------------	---

Tabel 2.4 Ketentuan Bahan Aspal untuk Campuran Beraspal (Lanjutan)

No.	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen.60-70	Tipe II Aspal yang Dimodifikasi	
				A ⁽¹⁾	B
				Asbuton yg diproses	Elastomer Sintetis
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT(SNI-03-6835-2002):					
11.	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 0,8
12.	Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s)	SNI 03-6441-200	≤ 800	≤ 1200	≤ 1600
13.	Penetrasi pada 25°C (%)	SNI 06-2456-1991	≥ 54	≥ 54	≥ 54
14.	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432-2011	≥ 100	≥ 50	≥ 25
15.	Keelastisan setelah Pengembalian (%)	AASHTO T 301-98	-	-	≥ 60

Sumber: Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2 (2020)

2.6 Campuran Aspal

Campuran aspal beton adalah campuran yang memiliki fungsi sebagai bahan pengikat yang terdiri antara agregat kasar, agregat dan filler serta aspal sebagai bahan pengikatnya. Hal yang paling utama dalam desain sebuah campuran bitumen/aspal adalah memilih tipe agregat, mutu agregat, mutu aspal, modifier aspal (jika diperlukan), dan untuk menentukan kadar aspal yang dapat bekerja paling optimum selama kurun waktu umur perkerasan tersebut. Komposisi bahan dalam campuran beraspal panas terlebih dahulu harus direncanakan sehingga setelah terpasang diperoleh perkerasan beraspal yang memenuhi kriteria. Menurut (Sukirman, 2003) terdapat tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal yaitu:

1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang alur, dan bleeding. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang

akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi. Sebaliknya perkerasan jalan yang diperuntukan untuk melayani lalu lintas kendaraan ringan tentu tidak perlu mempunyai nilai stabilitas yang tinggi. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas beton aspal adalah:

- a. Gesekan internal yang dapat berasal dari kekasaran permukaan butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi, agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal.
- b. Kohesi yang merupakan gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya, sehingga mampu memelihara tekanan kontak antar butir agregat.

2. Durabilitas

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

- a. (*Void In the Mineral*=VIM) kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh.

- b. (*Void In the Mineral Agregat*=VMA) besar sehingga *film* aspal dapat dibuat tebal. Jika VMA dan VIM kecil serta kadar aspal tinggi maka kemungkinan terjadinya bleeding cukup besar.
- c. *Film* (selimut) aspal, film aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis aspal beton yang durabilitas tinggi, tetapi kemungkinan terjadinya bleeding menjadi besar.

3. Fleksibilitas

Fleksibilitas adalah kemampuan aspal beton untuk menyesuaikan diri akibat penurunan (konsolidasi/*settlement*) dan pergerakan dari pondasi atau tanah dasar, tanpa terjadi retak. Penurunan terjadi akibat dari repetisi beban lalu lintas, ataupun penurunan terjadi akibat dari repetisi beban lalu lintas, ataupun penurunan akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli. fleksibilitas dapat ditingkatkan dengan mempergunakan agregat bergradasi terbuka dengan kadar aspal yang tinggi. 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. *Fatigue Resistance*

Fatigue resistance adalah kemampuan aspal beton menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak.

Hal ini dapat tercapai jika mempergunakan kadar aspal yang 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. *Skid Resistance*

Skid resistance adalah kemampuan permukaan aspal beton terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir, ataupun slip. Faktor-faktor untuk mendapatkan keksatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal. Ukuran maksimum butir agregat ikut menentukan kekesatan permukaan. Dalam hal ini agregat yang digunakan tidak saja harus mempunyai permukaan yang kasar, tetapi juga mempunyai daya tahan untuk permukaannya tidak mudah menjadi licin akibat repetisi 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 kasar yang cukup.

6. Impermeabilitas

Impermeabilitas adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara kedalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal, dan pengelupasan film/selimut aspal dari

permukaan agregat. Jumlah pori yang tersisa setelah aspal beton dipadatkan dapat menjadi indikator kedap air campuran. Tingkat impermeabilitas aspal beton berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.

7. *Workability*

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

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.

2.7 Metode Perencanaan Campuran

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 (sistim 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. Cara tersebut adalah:

1. Cara diagonal

Prinsip dan langkah dan 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 dan ujung kiri bawah ke ujung kanan atas.

- d. Sisi vertikal menyatakan persen 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 dan 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 dan 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 dan 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 belum tepat, maka digunakan cara coba-coba (*Trial and Error*), yaitu menentukan terlebih

dahulu persentase dan masing-masing agregat (tanpa mengubah persen lolos), kemudian hasil penggabungan agregat diperoleh melalui perkalian persentase dengan persen lolos dan 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.

2. Cara coba-coba (*Trial and Error*)

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

- a. Memahami batas gradasi yang disyaratkan.
- b. Memasukkan data spesifikasi gradasi pada kolom spesifikasi unit.
- c. Memasukkan persentase lolos saringan, masing-masing jenis agregat ke dalam persentase lolos.
- d. Memasukkan spesifikasi ideal pada kolom *target value*, yaitu nilai salah satu dan spesifikasi ideal yang disyaratkan.
- e. Mengambil dari 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 tadi.

- f. Jika sudah mendekati salah satu nilai spesifikasi ideal dan ketiga agregat, yang lain dihitung atau digabung dengan persentase yang sama. Sehingga dapat dipergunakan sebagai gradasi untuk campuran aspal panas.

3. Cara Grafis

Prinsip dan langkah dan cara grafis adalah sebagai berikut:

- a. Membuat kotak dengan ukuran bujur sangkar (10 x 10) cm sebanyak dua buah pada milimeter blok.
- b. Untuk sisi kiri merupakan persen agregat kasar.
- c. Plot pada garis paling tepi titik-titik dan 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. Dan batas maksimum dan minimum tersebut ditarik garis vertikal.
- h. Tarik yang membagi membatasi dua daerah maksimum dan minimum sehingga dan garis ini, dapat ditentukan persen 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 halus serta agregat sedang.

- l. Cari harga maksimum dan minimum yang mempunyai jarak terdekat.
- m. Tarik garis vertikal dan masing-masing titik maksimum dan minimum tersebut.
- n. 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 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 terdapat 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 yang diperlukan untuk mendapatkan resep 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. Tambahan pengisi (*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, agregat halus, *filler* dan aspal. Sifat-sifat material yang digunakan harus memenuhi spesifikasi yang ditentukan.

2.8.2 Penentuan Gradasi Agregat

Gradasi masing-masing jenis agregat (kasar, halus dan *filler*) mungkin saja ditentukan dalam spesifikasi suatu jenis campuran aspal panas. Demikian pula gradasi agregat gabungannya. Gradasi agregat gabungan bisa diperoleh dengan mencampur (*blending*) agregat kasar, halus dan *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:

Pb = % 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 2.5 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
Penyerapan aspal (%)	Maks.	1,7	
Jumlah tumbukan per bidang		75	
Rongga dalam campuran (%)	Min	4,0	
	Maks.	6,0	
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	18	17
Rongga terisi aspal (%)	Min.	68	
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800	
Pelelehan (mm)	Min.	3	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	250	
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min.	90	
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min.	3	

Sumber: *Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2 (2020)*

b. Gradasi Agregat Gabungan Campuran

Persyaratan gradasi agregat gabungan campuran Lataston Lapis Aus (*Hot Rolled Sheet-Wearing Course*) umumnya harus berada dalam batas spesifikasi yang disyaratkan, seperti pada tabel 2.6 berikut:

Tabel 2.6 Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal

Ukuran Saringan		HRS-Wearing Course
(mm)	(Inci)	
37,5	1,5	-
25	1	-
19	$\frac{3}{4}$	100
12,5	$\frac{1}{2}$	90-100
9,5	$\frac{3}{8}$	75-85
2,36	No. 8	50-72
0,6	No. 30	35-60
0,075	No. 200	6-10

Sumber: Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2 (2020)

2.9 Plastik *Polyethylene Terephthalate (PET)* Sebagai Bahan Pengikat Untuk Mengurangi Penggunaan Aspal

Aspal modifikasi adalah aspal minyak yang ditambah dengan beberapa aditif, dengan maksud untuk meningkatkan kinerjanya. Salah satu contoh aspal modifikasi adalah aspal modifikasi polimer.

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

fatigue damage, serta pemisahan/pelepasan material (Yildirim, 2007 dalam Nasution, 2017).

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

Tabel 2.7 Tipe-tipe Polimer

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

Sumber: Pusat Penelitian Bangunan Jalan dan Jembatan 2004

Penelitian ini menggunakan bahan plastik bekas *Polyethylene Terephthalate* (PET) sebagai bahan pengikat untuk mengurangi penggunaan aspal. Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) dengan rumus kimia $(C_{10}H_8O_3)_n$ merupakan

polimer yang bersifat fleksibel, kuat, kedap gas dan air, jernih. Kemampuan plastik PET untuk menampung karbondioksida (karbonasi) membuatnya sangat ideal untuk digunakan sebagai botol-botol minuman ringan (bersoda/terkarbonasi). Selain itu plastik PET juga sering digunakan sebagai botol air minum kemasan. PET mempunyai kepadatan sekitar 1,35-1,38 gram/cm³ dan memiliki titik leleh 260°C, titik didih 350°C (terdekomposisi), modulus elastisitas 2800-3100 MPa dan kuat tarik 55-75 MPa.

Plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) merupakan bentukan minyak bumi termasuk dalam jenis senyawa *polipren* yang sifat senyawa tersebut baru dapat terdekomposisi (terurai) secara sempurna dalam kurun waktu kurang lebih selama 450 tahun (Wilbraham dan Matta, 1992). PET digunakan untuk membuat berbagai macam kemasan, termasuk produk baru berbahan PET, baik untuk produk makanan ataupun bukan seperti bahan kain, sepatu, koper, karpet, rak, panel pintu dan banyak lagi.

Menurut (Zoorob S.E, 2000 dalam Nasution, 2017) 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 kedalam agregat yang dipanaskan pada temperatur campuran, kemudian aspal panas ditambahkan. Cara ini lebih murah, dikatakan lebih

murah karena tidak perlu ada aspal yang harus dikeluarkan dari tangki aspal di AMP apabila tangki aspal akan digunakan untuk keperluan pencampuran aspal dengan aspal konvensional. Selain lebih murah, cara kering ini juga lebih mudah karena hanya dengan memasukkan plastik dalam agregat panas, tanpa membutuhkan peralatan lain untuk mencampur (*mixer*). Kekurangan cara ini adalah harus benar-benar dapat dipertanggungjawabkan kehomogenan dan keseragaman kadar plastik yang dimasukkan/dicampurkan.

2.10 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 inch. Nilai stabilitas minimal sebesar 800 kg dan nilai *flow* minimal 3 mm (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 tambah 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 karakteristik 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 (*washboarding*) 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. *Flow* (Kelelehan)

Flow 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. *Density* (Kepadatan)

Density 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 (VIM)

VIM 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.

Gmm= Berat jenis maksimum campuran.

Gmb = 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 (VMA)

Rongga antar agregat (VMA) 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:

$$VMA = \left(100 \times \frac{G_{mb} - P_s}{G_{sb}} \right) \% \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

VMA = Rongga dalam agregat mineral

Gsb = Berat jenis curah agregat

Ps = Agregat, persen berat total campuran

Gmb = Berat jenis curah campuran padat

7. *Void Filled With Asphalt (VFA)*

Void Filled With Asphalt (VFA) 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 kedap air terhadap air dan udara serta sifat elastis campuran. Dengan kata lain VFA menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Semakin tinggi nilai VFA berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedap air 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 VMA dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

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

Keterangan:

VFA = Volume rongga antar butir agregat yang terisi aspal persentase dari VMA.

VMA = Rongga dalam agregat mineral

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 diuji setelah perendamannya pada suhu 60°C selama T2. Kemudian ditentukan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) Marshallnya dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

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.

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

Keterangan:

Ps = Kadar agregat, % terhadap berat aspal beton padat

Pa = kadar aspal terhadap berat aspal beton padat, %

Gse = Berat jenis efektif dari agregat pembentuk aspal beton padat.

Ga = Berat jenis aspal

10. Berat jenis bulk aspal beton padat (Gmb)

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

$$Gmb = \frac{Bk}{Bssd - Ba} \dots\dots\dots (2.10)$$

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

2.11 Kajian Terhadap Penelitian Terdahulu

Sebelum “Analisa Karakteristik Marshall pada campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* Dengan Menggunakan Bahan Tambahan Plastik Bekas *Polyethylene Terephthalate (PET)*” 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* Dan Suhu Rendaman Yang Ditingkatkan”.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan/Program Studi Teknik Sipil 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 aggregate 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 dari KAO yang diperoleh dari tahap 1 terhadap variasi bahan tambah 2%, 4%, 6% dan 8%. Pengujian tahap 3 dilakukan menggunakan komposisi dengan KAO, bahan tambah optimum dan menggunakan variasi suhu rendaman 60 °C, 65 °C, 70°C dan 75 °C. berdasarkan hasil penelitian material yang digunakan diperoleh komposisi campuran dengan proporsi batu pecah 1-2 sebesar 40%, batu pecah 1/2-1 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 substitusi 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 limbah plastik sebagai substitusi pada aspal 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. Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.

3.2 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.

3.3 Pengambilan Data Sampel

Pengambilan data dilakukan dengan membuat benda uji (briket) sebanyak 30 buah. Benda uji tersebut dibagi dalam 2 percobaan. Percobaan pertama dibuat

15 benda uji yang terdiri dari 1 macam komposisi terbaik yang mendekati spesifikasi dengan 5 variasi kadar aspal. Tiap variasi kadar aspal dibuat 3 buah benda uji yang kemudian hasilnya dirata-ratakan untuk kemudian didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO). Percobaan kedua, Kadar Aspal Optimum (KAO) yang didapat pada percobaan pertama digunakan sebagai kadar aspal untuk memuat 15 buah benda uji, yang terdiri dari 5 variasi persentase berat plastik bekas terhadap berat aspal yang diperoleh dari Kadar Aspal Optimum (KAO), yaitu berat plastik sebagai bahan persentase 2%, 4%, 6%, 8% dan 10%. Tiap variasi persentase berat plastik dibuat 3 buah benda uji. Pembuatan dan pengujian benda uji ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

3.4 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Pengambilan Material berupa agregat kasar dan abu batu 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.
2. Aspal yang digunakan sebagai bahan pengikat dalam penelitian ini adalah aspal keras dengan penetrasi 60/70.
3. Bahan substitusi yang akan digunakan pada campuran aspal yaitu berupa plastik bekas kemasan makanan dan botol-botol lembek yang termasuk dalam jenis plastik *Polyethylene Terephthalate (PET)*

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% dan benda uji, berguna untuk menimbang bahan.
- 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, sikat, 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 kira-kira 5 Kg. Keranjang berguna untuk meletakkan sampel dan tempat pengayak dari sisa air.
- b) Tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai untuk pemeriksaan, berguna untuk merendam benda uji.
- c) Timbangan dengan kapasitas 5 kg dan dilengkapi dengan alat penggantung keranjang. Berguna untuk menimbang bahan yang akan diuji.

- d) Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu sampai $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$, 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, piknometer dengan kapasitas 500 ml, kerucut terpancung dengan diameter (90 ± 3) mm.

Peralatan yang digunakan diatas berguna untuk pemeriksaan jenis. Timbangan untuk menimbang bahan, piknometer untuk mengukur massa jenis atau densitas fluida dan kerucut terpancung untuk mengisi benda uji.

- b) Batang penumbuk yang mempunyai bidang penumbuk rata, berat (340 ± 1) kg dengan diameter permukaan penumbukan (25 ± 3) mm.

Berguna untuk memadatkan benda uji yang dimasukkan ke dalam kerucut terpancung.

- c) Saringan No.8, talam, bejana tempat air, oven pengukur suhu, tungku pemanas (*hot plate*), *stopwatch*, dan lap bersih.

c. Pengujian Keausan Agregat Kasar

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

- 1) Mesin Los Angeles dan bola-bola dengan diameter rata-rata 4,68 cm dan berat masing-masing antara 400 gram sampai dengan 440 gram sebanyak 11 buah. Bertujuan untuk mengetahui angka keausan yang

dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan No.12 terhadap berat semula dalam persen.

- 2) Saringan No.12 dan saringan-saringan lainnya. Berguna untuk menyaring bahan sesuai dengan ketentuan lolos saringan.
- 3) Timbangan dan oven dengan pengaturan suhu. Berguna untuk menimbang bahan dan oven berguna sebagai pengering benda uji sampai suhu yang sudah ditentukan.

d. Pemeriksaan Kadar Lempung pada Agregat Halus

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

- 1) Tabung *sand equivalent*, beban *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, sumbut 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") dan tinggi 7,5 cm (3") lengkap dengan pelat atas dan leher sambung. Berfungsi untuk cetakan benda uji dan pelat alas sebagai alas benda uji.
- 2) Alat pengukur benda.
- 3) Penumbuk yang memiliki permukaan tumbuk rata berbentuk silinder dengan berat 4,536 kg dan tinggi jatuh benda 45,7 cm. Berfungsi menumbuk benda uji dengan ketinggian yang telah ditentukan.
- 4) Landasan pematat terdiri dari balok kayu yang dilapisi dengan pelat baja.
- 5) Oven dengan pengatur suhu, kompor, timbangan, wajan, talam-talam, sendok pengaduk, *thermometer*, kertas saring dan sarung tangan.

b. Pemeriksaan Benda Uji

Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan benda uji adalah sebagai berikut :

- 1) Timbangan yang dilengkapi dengan keranjang penggantung berkapasitas 5 kg. Berguna untuk menimbang benda uji.
- 2) Bak perendam (*water bath*), yang dilengkapi dengan pengatur suhu. Berguna untuk tempat merendam benda uji.

- 3) Alat Marshall yang dilengkapi dengan :
- a. Kepala penekan (*breaking head*) berbentuk lengkung. Berguna untuk menekan benda uji agar diketahui nilai tekannya.
 - b. Cincin penguji (*proving ring*) berkapasitas 2.500 kg atau 5.000 *pound* dilengkapi dengan arloji (dial) tekan dengan ketelitian 0,0025 mm. Digunakan untuk mengukur nilai stabilitas.
 - c. Arloji pengukur kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 beserta kelengkapannya. Berguna untuk mengukur tingkat kelelahan benda uji.

3.6 Waktu dan Tempat Penelitian

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

3.7 Cara Penelitian

3.7.1 Pemeriksaan Daktilitas Aspal

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang terisi bitumen/aspal keras sebelum putus pada suhu dan kecepatan Tarik tertentu.

- **Peralatan yang diperlukan:**

- a. Glyserin
- b. Talk
- c. Butene Filed Heather

- d. Mixing bowl
- e. Thermometer
- f. Spatula

- **Prosedur Percobaan**

- a. Lapsi bagian dalam dan plat dasar bagian atas dengan campuran gliserin.
- b. Panaskan contoh aspal pada temperature 80-100°C diatas titik lembek dalam mangkok pemanas kira-kira 100 gram sehingga mencair dan dapat dihitung pada mold daktilitas sampai penuh.
- c. Dinginkan dalam mold daktilitas dalam suhu ruang selama 30 menit lalu pindahkan seluruhnya kedalam ruang AC/kulkas atau bak perendam yang telah disiapkan pada suhu 25°C selama 30 menit, kemudian ratakan contoh yang berlebihan dengan pisau atau spatula yang panas sehingga cetakan terisi penuh dan rata.
- d. Diamkan lagi dalam ruang AC/kulkas salama (85-95) menit, kemudian lepaskan contoh dari plat dasar dan sisi-sisi mold daktilitas.
- e. Pasang benda uji pada mesin daktilitas dan lakukan uji Tarik benda uji ini secara teratur dengan kecepatan 5 cm permenit sampai benda uji putus, dengan perbedaan kecepatan 5% masih diizinkan.
- f. Baca jarak antara pemegang cetakan pada saat benda uji putus (dalam cm), selama percobaan berlangsung benda uji harus dipertahankan 25°C.

- g. Jika benda uji menyentuh dasar mesin daktilitas atau terapung diatas permukaan air maka pengujian dianggap tidak normal.

3.7.2 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.

3.7.3 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.

3.7.4 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” dan tertahan saringan No. 8.

Adapun prosedur pelaksanaan dan pemeriksaan ini adalah sebagai berikut :

- 1) Timbang sampel kering oven seberat 5 kg.

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

Perhitungan berat jenis dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut ini :

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

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

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

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

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 semu (*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) Angkat kerucut terpancung, keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila sampel mengalami keruntuhan akan tetapi masih dalam keadaan tercetak.
- 7) Timbang sampel seberat 500 gram dan masukan ke dalam piknometer.
- 8) Isi piknometer dengan air suling sampai sampel terendam seluruhnya.
- 9) Letakkan piknometer di atas pelat pemanas (*hot plate*) kemudian didihkan selama 10 menit untuk mengeluarkan udara yang terserap di dalam sampel.

- 10) Dinginkan piknometer yang berisi sampel dan rendam piknometer dalam air dengan suhu 25°C sampai suhu dalam piknometer menunjukkan 25°C.
- 11) Tambahkan air suling sampai tanda batas kalibrasi dan keringkan bagian luar piknometer dengan lap bersih, kemudian timbang piknometer yang berisi sampel dan air suling (Bt).
- 12) Keluarkan sampel dan keringkan dalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam.
- 13) Keluarkan sampel dalam oven, dinginkan kemudian timbang (Bk).
- 14) Isi piknometer dengan air suling sampai batas kalibrasi dan timbang (B).

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

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

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

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

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

3.7.5 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

3.7.6 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 hamper mendatar dan kocok sebanyak 90 gerakan sejauh 200 mm 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 gradasi 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 :

1. Penentuan proporsi komposisi campuran terhadap total agregat.
2. 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.
3. Membuat benda uji (briket) untuk setiap campuran (untuk 1 variasi kadar aspal dibuat 3 buah briket) dengan cara dicetak dan ditumbuk dengan alat khusus.

4. 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 Substitusi Plastik Jenis *polietilena tereftalat (PET)*

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 50 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 Pb didapatkan nilai kadar aspal dan nilai *VIM* (*Void In Mix*). Setelah itu dilanjutkan dengan uji Marshall sehingga didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO).
- d. Dilanjutkan dengan pembuatan benda uji dengan campuran menggunakan bahan tambah plastik jenis *PET* dengan variasi persentase 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% terhadap persentase Kadar Aspal Optimum (KAO). Plastik *PET* dipotong menggunakan mesin pencacah dengan ukuran panjang dan lebar kurang dari 1 cm atau 100% lolos saringan 3/8'' atau 90% lolos saringan N0. 4, kemudian dicampurkan bersamaan dengan campuran aspal dan agregat yang dipanaskan. Setelah itu dilanjutkan dengan uji Marshall kembali menggunakan kadar aspal optimum sebanyak 3 (tiga) buah benda uji (briket) tiap variasi persentase bahan tambahnya.

Tabel 3.2 Jumlah Benda Uji Menggunakan Bahan Substitusi Plastik Jenis polietilena tereftalat (PET)

Persentase Bahan Substitusi PET	Jumlah Benda Uji	Keterangan
2 %	3 buah	Campuran agregat spesifikasi <i>HRS-WC</i> + kadar aspal optimum + 2 % <i>LDPE</i>
4 %	3 buah	Campuran agregat spesifikasi <i>HRS-WC</i> + kadar aspal optimum + 4 % <i>LDPE</i>
6 %	3 buah	Campuran agregat spesifikasi <i>HRS-WC</i> + kadar aspal optimum + 6 % <i>LDPE</i>
8 %	3 buah	Campuran agregat spesifikasi <i>HRS-WC</i> + kadar aspal optimum + 8 % <i>LDPE</i>
10 %	3 buah	Campuran agregat spesifikasi <i>HRS-WC</i> + kadar aspal optimum + 10 % <i>LDPE</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:

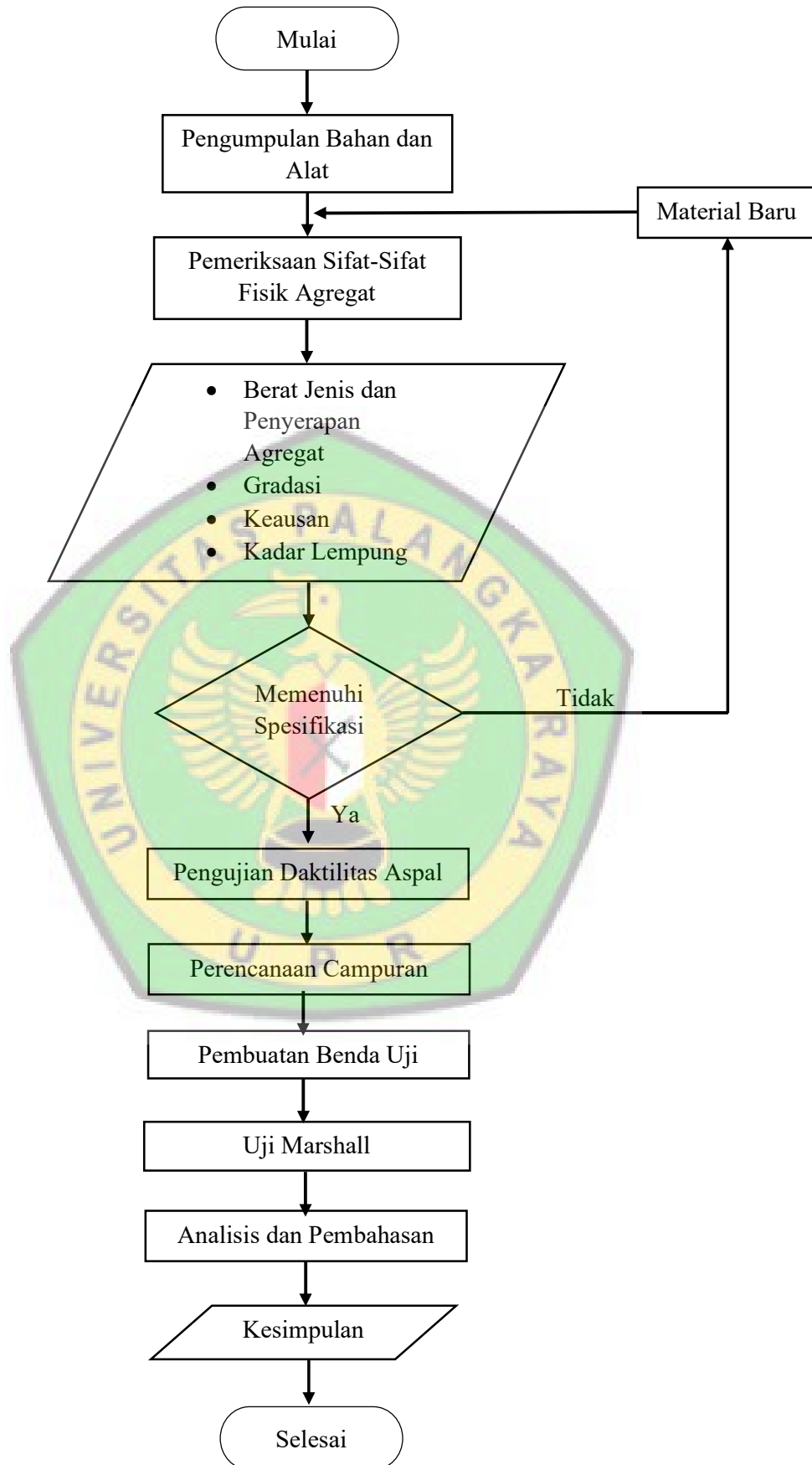
- a. Persiapan Pengujian
 - 1) Bersihkan benda uji dari kotoran yang menempel.
 - 2) Timbanglah benda uji yang sebelumnya dibiarkan selama 24 jam untuk mendapatkan berat kering di udara.
 - 3) Rendam benda uji dalam air pada suhu ruang selama 24 jam.
 - 4) Setelah direndam selama 24 jam, timbanglah benda 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 perendam (*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 yang telah diuraikan sebelumnya, pada “Analisis Karakteristik Marshall Campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* menggunakan Batu eks. Palu dan Pasir eks. Tangkiling ini disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Kadar Aspal Optimum (KAO) yang di hasilkan 7,3%, tersebut telah memenuhi persyaratan spesifikasi dalam campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Coures (HRS-WC)* yang telah ditentukan.
2. Bagaimana pengaruh penggunaan plastik jenis *Polyethylene Terephthalate (PET)* sebagai bahan substitusi aspal terhadap nilai karakteristik Marshall:
 - a. 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.
 - b. Pada komposisi II dengan substitusi bahan pengikat alternatif (limbah plastik *PET*) Maksimum sebesar 6,00%, Stabilitas sebesar 984,15 kg, VMA sebesar 20,81 %, VIM sebesar 4,46 %, VFB sebesar 78,64 %, dan MQ sebesar 303,51 kg/mm.

3. Kadar substitusi maksimum untuk campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* dari bahan pengikat alternatif yang di dapat dari hasil pengujian laboratorium fakultas Teknik Universitas Palangkaraya adalah 6%.
4. Dan pada pengujian daktilitas maksimum substitusi bahan pengikat alternatif didapat 6%, untuk substitusi 8% dan 10% angka kuat Tarik didapat ≤ 100 cm, maka kurang dari spesifikasi yang di tentukan.

5.2 Rekomendasi

Berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan karakteristik campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* dengan menggunakan metode Marshall, adapun saran dari penulis yaitu:

1. Dari pengujian Daktilitas didapat maksimum Substitusi limbah plastik jenis *Polyethylene Terephthalate (PET)* sebesar 6% dan pada pengujian Marshall maksimum substitusi limbah plastik jenis *Polyethylene Terephthalate (PET)* diperoleh sebesar 6%, jadi untuk pelaksanaan di lapangan maksimum penggunaan substitusi limbah plastik sebesar 6% sesuai perhitungan pengujian Marshall dan pengujian daktilitas aspal.
2. Untuk penelitian selanjutnya perlu mempertimbangkan penggunaan jenis limbah plastik selain limbah plastik *Polyethylene Terephthalate (PET)* untuk mendapatkan perbandingan beberapa jenis limbah plastik baik dari segi kualitas dan biaya.
3. Untuk penelitian selanjutnya perlu dijelaskan mengenai waktu pencampuran antara limbah plastik dan aspal ketika proses melelehkan atau pemanasan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arnata, I.W. dan B. Admadi H. (2016), *Teknologi Polimer*, Bahan Kuliah Fakultas Teknik Universitas Udayana, Denpasar.
- Balitbang dan BBPJM VIII Surabaya (2018), *Penerapan Skala Penuh Teknologi Aspal Limbah Plastik*, Surabaya.
- Christady, H., 2011, *Perancangan Perkerasan Jalan Dan Penyelidikan Tanah*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum (2020), *Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2*, Jakarta.
- Diansari (2016), *Aspal Modifikasi dengan Penambahan Plastik Low Linear Density Polyethylene (LLDPE) Ditinjau dari Karakteristik Marshall dan Uji Penetrasi pada Lapisan Aspal Beton (AC-BC)*, Tugas Akhir Fakultas Teknik Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Gunaidi, M.A.D. (2012), *Analisis Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) dengan Menggunakan Plastik Bekas Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Agregat*, Tugas Akhir Fakultas Teknik Universitas Udayana, Denpasar.
- Morino, D. (2015), *Penggunaan Pasir Tailing Sisa Galian Tambang sebagai Agregat Halus pada Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) dengan Low Density Polyethylene (LDPE) Sebagai Bahan Tambah (Additive)*, Tugas Akhir Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya, Palangka Raya.
- 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.
- Rahmadini, S. (2018), *Pengaruh Variasi Suhu Pematatan Campuran Asphalt Concrete untuk Taxiway Surface Course Bandar Udara Tjilik Riwut Palangka Raya*, Tugas Akhir Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya, Palangka Raya.
- Rahmattulah (2018), *Analisis Perbandingan Pasir Sungai Tabalong dan Pasir Sungai Barito untuk Campuran Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS-WC)*, Tugas Akhir Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya, Palangka Raya.
- Soehartono (2015), *Teknologi Aspal dan Penggunaannya dalam Konstruksi Perkerasan Jalan*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Sukirman, S. (2003), *Beton Aspal Campuran Panas*, Granit, Jakarta.
- Widianto, B.W. (2020), *Perubahan Karakteristik Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi Getah Karet Alam Pangkalan Balai*, Sumatera Selatan
- Wilbraham, C.A. dan M. S. Matta. (1992), *Pengantar Kimia Organik dan Hayati*, Penerbit ITB, Bandung.

Yance (2017), *Kajian Laboratorium Open Graded Asphalt (OGA) Menggunakan Agregat Hampangan dan Bahan Tambah High Density Polyethylene dan Suhu Rendaman Yang Ditingkatkan*, Tugas Akhir 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 Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya, Palangka Raya.

