PROYEK AKHIR – VC 191845

PENENTUAN KOMPOSISI OPTIMUM CAMPURAN LIMBAH PLASTIK *LOW-DENSITY POLYETHYLENE (LDPE)* DAN *RUBBER INNER TUBE* PADA LASTON *ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE (AC-BC)* SEBAGAI *INOVASI ECO MATERIAL*

MUHAMMAD ADITYA KUSUMA
NRP. 10111610013075

DOSEN PEMBIMBING
Dr. MACHSUS, ST.,MT.
NIP 19730914 200501 1 002

PROGRAM SARJANA TERAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

PROYEK AKHIR – VC 191845

PENENTUAN KOMPOSISI OPTIMUM CAMPURAN LIMBAH PLASTIK *LOW-DENSITY POLYETHYLENE (LDPE)* DAN *RUBBER INNER TUBE* PADA LASTON *ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE (AC-BC)* SEBAGAI *INOVASI ECO MATERIAL*

MUHAMMAD ADITYA KUSUMA
NRP. 10111610013075

DOSEN PEMBIMBING
Dr. MACHSUS, ST.,MT.
NIP 19730914 200501 1 002

PROGRAM SARJANA TERAPAN
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

FINAL PROJECT – VC 191845

DETERMINATION OF *LOW-DENSITY POLYETHYLENE (LDPE) PLASTIC WASTE* AND *RUBBER INNER TUBE OPTIMUM COMPOSITION FOR ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE (AC-BC)* AS *ECO MATERIAL INNOVATION*

MUHAMMAD ADITYA KUSUMA
NRP. 10111610013075

SUPERVISOR
Dr. MACHSUS, ST.,MT.
NIP 19730914 200501 1 002

APPLIED UNDERGRADUATE PROGRAM
CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING DEPARTMENT
VOCATIONAL VACULTY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2020

LEMBAR PENGESAHAN

PENENTUAN KOMPOSISI OPTIMUM CAMPURAN LIMBAH PLASTIK *LOW-DENSITY POLYETHYLENE (LDPE)* DAN *RUBBER INNER TUBE* PADA LASTON *ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE (AC-BC)* SEBAGAI INOVASI *ECO MATERIAL*

PROYEK AKHIR TERAPAN

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Terapan Teknik
Pada
Program Studi Teknologi Rekayasa Pengelolaan dan Pemeliharaan Bangunan Sipil
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Disusun Oleh :

Mahasiswa,

Muhammad Aditya Kusuma
NRP. 10111610013075

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing,

Dr. Machsus, ST., MT.
NIP : 19730914 200501 1 002

BERITA ACARA
SEMINAR PROPOSAL TUGAS AKHIR TERAPAN
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda : -/93427/IT2.VI.8.1/TU.00.01/2

Tanggal : 9/12/2019

Judul Tugas Akhir Terapan	**Pemanfaatan limbah plastik low density polyethilene (LDPE) dan limbah karet ban pada campuran lataston AC-BC sebagai inovasi green environment material**		
Nama Mahasiswa	Muhammad Aditya Kusuma	NRP	10111610013075
Dosen Pembimbing 1	Dr. Machsus, ST., MT. NIP. 19730914 200501 1 002	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2		Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
1 Referensi yg terlampir harus dilihat di tinjauan Pustaka 2 Flow Chart lebih baik tdk dari Word 3.	Amalia Firdaus Mawardi, ST., M NIP. 19770218 200501 2 002
1 Bagan / Kerne → menurunkan aspal	Ir. Rachmad Basuki, MS. NIP. 19641114 198903 1 001

Rekomendasi:

A. Bisa dilanjutkan untuk TA

B. Tidak bisa dilanjutkan untuk TA

Dipindai dengan CamScanner

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Kampus ITS , Jl. Menur 127 Surabaya 60116
Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
http://www.diplomasipil-its.ac.id

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

NAMA : **MUHAMMAD ADITYA KUSUMA**
NRP : **10111610013075**
Judul tugas akhir : **PENENTUAN KOMPOSISI OPTIMUM CAMPURAN LIMBAH PLASTIK *LOW-DENSITY POLYETHYLENE (LDPE)* DAN *RUBBER INNER TUBE* PADA LASTON *ASPHALT CONCRETE - BINDER COURSE (AC-BC)* SEBAGAI *INOVASI ECO MATERIAL***
Dosen Pembimbing : **Dr. Machsus, ST.,MT.**

No.	Tanggal	Tugas/Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
				B	C	K
1.	29 April 2020	Penyajian grafik dikelompokkan dan dibandingkan dengan grafik dari jurnal acuan yang ter publish atau aturan lain terkait parameter marshall.				
2.	14 Mei 2020	me-review jurnal sebagai pembanding dengan hasil penelitian hasil lab. dan melanjutkan progres di lab.		B	C	K
3.	19 Juni 2020	Hasil parameter marshall konvensional sudah di dapatkan. Stabilitas dan flow terlampau besar karena faktor alat, dan membuat beberapa benda uji ulang menggunakan alat marshall manual grafik ditambahkan batas atas dan batas bawah		B	C	K
4.	16 Juli 2020	parameter modifikasi sudah didapatkan, pola penampilan materi perlu diatur, seperti grafik pada jurnal serta benchmark. Membuat narasi atau melampirkan pembanding pada jurnal secara redaksional.		B	C	K
4.	18 Juli 2020	Kesimpulan menjawab tujuan, di cek kembali karena tujuan nya ada 3 poin, kesimpulannya hanya 2 poin Melampirkan logbook.		B	C	K

B = lebih cepat dari jadwal
C = sesuai dengan jadwal
K = Terlambat dari jadwal

PENENTUAN KOMPOSISI OPTIMUM CAMPURAN LIMBAH PLASTIK *LOW-DENSITY POLYETHYLENE (LDPE)* DAN *RUBBER INNER TUBE* PADA LASTON *ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE (AC-BC)* SEBAGAI INOVASI *ECO MATERIAL*

Nama Mahasiswa	: Muhammad Aditya Kusuma
NRP	: 10111610013075
Departemen	: Teknik Infrastruktur Sipil FV-ITS
Dosen Pembimbing	: Dr. Machsus, ST., MT.
NIP	: 19730914 200501 1 002

ABSTRAK

Indonesia kurang lebih memiliki 14 industri ban dengan kapasitas produksi seluruh industri mencapai 77 juta ban mobil, truck, dan bus serta 64 juta ban kendaraan roda dua, sedangkan pengolahan ban bekas di Indonesia masih sangat terbatas, antara lain hanya untuk pelindung dermaga (fender), tali, sandal, tempat sampah dan kerajinan kursi. Sehingga beberapa tahun ke depan, limbah ban bekas akan menjadi masalah yang cukup serius dan rumit. Karena limbah ban bekas sangat sulit diuraikan oleh lingkungan dan sangat tahan terhadap serangan kimia dan asam (Reddy dan Saichek, 1998). Disisi lain Indonesia berada diposisi ke-2 di dunia dengan jumlah sampah plastik di laut yang mencapai 1.29 juta metrik ton per tahun. Memanfaatkan sampah plastic tipe (Low-Density Polyethylene) dan Rubber Inner Tube (limbah karet ban dalam) sebagai bahan tambahan campuran aspal merupakan salah satu solusi permasalahan pengolahan kedua limbah tersebut.

Spesifikasi campuran aspal yang digunakan merupakan Laston Lapis Antara (AC-BC). Kadar sampah plastic dan limbah karet masing masing 50:50 dengan presentase yang digunakan yakni 2%; 4%; 6%; dan 8% dan 10% dari total berat aspal. Penelitian ini mengacu pada spesifikasi umum 2018. Metode yang

digunakan dalam penelitian ini merupakan metode basah, dimana LDPE dan limbah karet dicampurkan ke dalam aspal panas.

Hasilnya, KAO 6,28% campuran kadar limbah karet dan limbah plastik LDPE memberikan perbaikan terhadap karakteristik pada beberapa aspek, diantaranya adalah nilai VMA, VIM, dan Flow yang memiliki trend grafik dengan garis regresi menurun. Sedangkan nilai Density, VFA, dan Stabilitas memiliki nilai grafik yang meningkat. Dimana nilai Stabilitas meningkat signifikan mencapai 27% dari stabilitas campuran aspal konvensional. untuk skala perbandingan harga per benda uji, nilai per m^3 nya lebih hemat benda uji aspal modifikasi sebesar Rp. 2,589,00-

Kata kunci : *Low-Density Polyethylene*, Laston AC-BC, Parameter *Marshall*, Stabilitas

DETERMINATION OF *LOW-DENSITY POLYETHYLENE (LDPE) PLASTIC WASTE* AND *RUBBER INNER TUBE OPTIMUM COMPOSITION FOR ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE (AC-BC)* AS *ECO MATERIAL INNOVATION*

Student Name	: Muhammad Aditya Kusuma
NRP	: 10111610013075
Department	: Teknik Infrastruktur Sipil FV-ITS
Supervisor	: Dr. Machsus, ST., MT.
NIP	: 19730914 200501 1 002

ABSTRACT

Indonesia has around 14 tire industries with a production capacity of all industries reaching 77 million car, truck & bus's tire around 64 million two-wheeled vehicle tires, while the processing of waste tires in Indonesia is still very limited, among others only to protect docks (fenders), ropes, slippers, trash cans, and craft chairs. So that in the next few years, used tire waste will become a quite serious and complicated problem and must to take some solve. Because tire waste is very difficult to be deciphered by the environment and is very resistant to chemical and acid attacks (Reddy and Saichek, 1998). On the other hand, Indonesia is in the second position in the world with the amount of plastic waste in the sea which reaches 1.29 million metric tons per year. Utilizing the type of plastic waste (Low-Density Polyethylene) and Rubber Inner Tube as an asphalt mixture additive is one solution for the treatment of both wastes.

The asphalt mixture specification used is the Laston *Lapis Antara* (AC-BC). The level of plastic waste and rubber waste is 50:50 each with a percentage used of 2%; 4%; 6%; and 8% and 10% of the total weight of asphalt. This study refers to the 2018 general specification. The method used in this study is the wet method, where LDPE and rubber waste are mixed into hot asphalt.

The results is about improvements to the characteristics of several aspects, including the value of VMA, VIM, and Flow which has a trend graph with a downward regression line. While the value of Density, VFA, and Stability has an increasing graph value. And the Stability value increased significantly reached 27% of the stability of conventional asphalt mixes. For the comparison scale prices each test object each m^3 is more economical modified asphalt specimen. Its more cheap around Rp. 2,589.00-

Kata kunci : *Low-Density Polyethylene (LDPE),* Laston AC-BC, Parameter *Marshall,* Stabilitas

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas ke hadirat Allah SWT, karena dengan rahmat, ridho, dan pertolongan-Nya saya dapat menyusun dan menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "**Penentuan Komposisi Optimum Campuran Limbah Plastik *(Low-Density Polyethylene)* LDPE dan *Rubber Inner Tube* (karet ban dalam) pada Laston AC-BC *(Asphalt Concrete – Binder Course)* sebagai Inovasi *eco material*** dengan tepat waktu. Tugas akhir dengan *basic research* tentang aspal modifikasi ini merupakan implementasi ilmu yang telah didapat selama perkuliahan di Program Studi Teknologi Rekayasa Pengelolaan dan Pemeliharaan Bangunan Sipil Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa proyek akhir tidak akan terlaksana tanpa bantuan, bimbingan serta pengarahan dari beberapa pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tulus dan sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan karunia-Nya, sehingga proposal terapan ini dapat terselesaikan, walaupun selama penyelesaian tugas akhir ini mengalami hambatan dan rintangan.
2. Orang tua serta keluarga tercinta yang telah memberikan dukungan moril maupun materil serta selalu mendoakan sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Bapak Dr. Machsus, ST., MT selaku dosen pembimbing serta tim dosen penelitian aspal limbah plastik dan limbah karet yang telah membantu penulis dalam proses pengerjaan tugas akhir.
4. Seluruh dosen pengajar serta karyawan Teknik Infrastruktur Sipil FV ITS yang telah membimbing selama masa perkuliahan.

5. Tim penelitian aspal plastik serta karyawan laboratorium jalan yang telah membantu pelaksanaan di laboratorium.
6. Semua teman-teman dan seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang selama ini telah mendukung dan berpartisipasi dalam membantu menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunan. Semoga dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Surabaya, 13 Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ..... **i**

ABSTRAK ..... **i**

ABSTRACT ..... **iii**

KATA PENGANTAR ..... **v**

DAFTAR ISI ..... **vii**

DAFTAR GAMBAR ..... **xii**

DAFTAR TABEL ..... **xiii**

BAB 1 PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 3

1.3 Tujuan Penelitian 4

1.4 Batasan Masalah 5

1.5 Manfaat Penelitian 5

1.6 Lokasi Penelitian 6

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA **7**

2.1 Aspal 7

2.2 Pengertian LASTON *(Asphalt Concrete)* 7

2.2.1 Pengertian umum LASTON 7

2.3 Material Penyusun Campuran LASTON (Asphalt Concrete) 9

2.3.1 Agregat Kasar 9

2.3.2 Agregat Halus 10

2.3.3 Bahan Pengisi *(Filler)* 10
2.3.4 Spesifikasi Gradasi Agregat Gabungan 11
2.3.5 Bahan Aspal untuk Campuran Beraspal 13
2.4 *Rubber Inner Tube* (Limbah Karet Ban Dalam) 14
2.5 *Low-Density Polyethylene (LDPE)* 14
2.6 Perencanaan Kadar Aspal 15
2.7 Pengujian *Marshall* 15
2.8 Parameter Pengujian *Marshall* 16
2.8.1 *Density* 16
2.8.2 Rongga Dalam Campuran / *Void in Mix* (VIM) . 17
2.8.3 Rongga dalam Agregat (VMA) 18
2.8.4 Rongga Terisi Campuran Beraspal (VFA) 18
2.8.5 Stabilitas *Marshall* 19
2.8.6 Kelelehan *(Flow)* 19
2.8.7 *Marshall Quotient (MQ)* 20
2.9 Penelitian Terdahulu 20
2.10 Hubungan dengan Penelitian Terdahulu 25
BAB III METODOLOGI PENILITIAN 27
3.1 Diagram Alir Penelitian 27
3.2 Tempat Penelitian 28
3.3 Studi Literatur 28
3.4 Alat dan Bahan 29
3.4.1 Alat Uji Aspal 30

3.4.2 Alat Uji Agregat 31
3.4.3 Alat Uji Marshall 32
3.5 Pemeriksaan Material 32
3.5.1 Pemeriksaan Aspal 33
3.5.2 Pemeriksaan Agregat 36
3.6 Pencampuran Limbah Plastik dan Limbah Karet 37
3.7 Tahapan Peneltian 38
3.7.1 Persiapan 38
3.7.2 Pengujian (Kadar Aspal Optimum) KAO 38
3.7.3 Pembuatan Benda Uji 39
3.8 Pengujian Marshall 40
3.9 Pengelolaan dan Pembahasan Hasil 41
3.10 Tata Cara Pelaksanaan Pencampuran 42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 43
4.1 Hasil Pengujian Material 43
4.1.1 Analisa Saringan Agregat 43
4.1.2 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat 50
4.1.3 Hasil Pengujian Aspal 53
4.1.4 Hasil Pengujian Fisik Agregat 54
4.2 Perencanaan Proporsi Agregat Gabungan 55
4.3 Perencanaan Pembuatan Benda Uji 57
4.3.1 Penentuan Kadar Aspal Rencana (KAO) 58
4.3.1.1 Fraksi Desain Butiran Agregat 58

4.3.1.2 Fraksi Desain Butiran Campuran 59
4.3.1.3 Penyerapan Agregat Terhadap Aspal 60
4.3.2 Variasi Nilai Kadar Aspal Rencana 61
4.4 Pengujian *Marshall* Kadar Aspal Rencana 65
4.4.1 Density 65
4.4.2 Void In Mix (VIM) 68
4.4.3 *Void in Mineral aggregate (VMA)* 71
4.4.4 *Void Filled Asphalt (VFA)* 73
4.4.5 *Flow* 75
4.4.6 Stabilitas 79
4.4.7 *Marshall Quotient* 81
4.5 Perencanaan Pembuatan Benda Uji modifikas 84
4.6 Pengujian Karakteristik Aspal 88
- Berat Jenis Aspal 88
4.7 Pengujian Marshall modifikasi 90
4.7.1 *Density* 90
4.7.2 Void in Mix 93
4.7.3 Void in Mineral Agregate 97
4.7.4 Void Filled Asphalt 99
4.7.5 Flow 101
4.7.6 Stabilitas 104
4.7.7 *Marshall Quotient* 106
4.8 Rencana Anggaran Biaya (RAB) 110

BAB V KESIMPULAN & SARAN.....113

5.1 Kesimpulan 113

5.2 Saran 114

DAFTAR GAMBAR

Gambar. 1.1 Negara dengan limbah plastic terbesar di laut 1
Gambar. 2.1 Struktur Lapisan Perkerasan Laston.....8
Gambar. 2.2 Limbah Karet Ban dalam 14
Gambar. 2.3 Low Density Polyethilene.....15
Gambar. 3.1 Agregat 10-20 mm ; 10-10mm ; 5-10mm 29
Gambar. 3.2 Aspal Penetrasi 60/70.....30
Gambar. 3.3 Sampel Benda Uji 40
Gambar. 4.1 Grafik Blending Agregat.....57
Gambar. 4.2 Grafik Density Konvensional.....67
Gambar. 4.3 Grafik Void in Mix (konvensional).....70
Gambar. 4.4 Grafik Void in Mineral Aggregate Konvensional.....72
Gambar. 4.5 Grafik Void Filled Asphalt Konvensional 74
Gambar. 4.6 Grafik Flow Konvensional.....76
Gambar. 4.7 Grafik flow setelah di kalibrasi.....79
Gambar. 4.8 Grafik Stabilitas Konvensional 81
Gambar. 4.9 Grafik MQ Konvensional.....83
Gambar. 4.10 Grafik Density dengan penambahan LDPE dan Karet....92
Gambar. 4.11 grafik VIM dengan penambahan LDPE dan Karet 96
Gambar. 4.12 Grafik VMA dengan penambahan LDPE dan Karet.....98
Gambar. 4.13 Grafik VFA dengan penambahan LDPE dan karet.....100
Gambar. 4.14 grafik flow dengan penambahan LDPE dan karet.....103
Gambar. 4.15 Grafik stabilitas dengan penambahan LDPE dan karet.106

DAFTAR TABEL

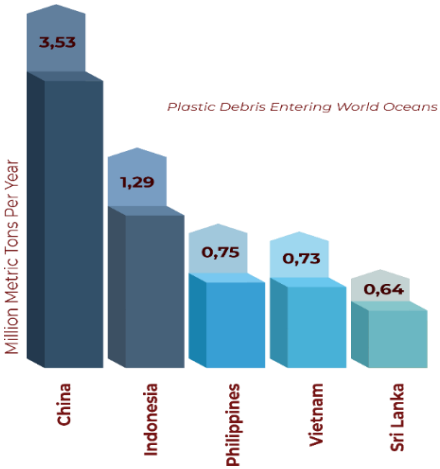
Table 2.2.1 Tabel spesifikasi umum 2018 Laston 110
Table 2.2.2 Spesifikasi Agregat kasar 9
Table 2.2.3 Tabel Spesifikasi Agregat halus 10
Table 2.2.4 spesifikasi Gradasi Agregat Gabungan 11
Table 2.2.5 Standar Pengujian Agregat 12
Table 2.2.6 Spesifikasi bahan aspal untuk campuran beraspal 13
Table 4.1 Analisa Saringan Agregat Kasar 10-20mm 44
Table 4.2 Analisa Saringan Agregat Kasar 10-10mm 45
Table 4.3 Analisa Saringan Agregat Medium 5-10mm 47
Table 4.4 Analisa Saringan Agregat Halus 0-5 mm 48
Table 4.5 BJ dan Penyerapan Air Agregat Kasar (10-20 mm) 50
Table 4.6 BJ dan Penyerapan Air Agregat Kasar (10-10 mm) 51
Table 4.7 BJ dan Penyerapan Air Agregat Medium (5-10 mm) . 52
Table 4.8 BJ dan Penyerapan Air Agregat Halus (0-5 mm) 52
Table 4.9 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal 54
Table 4.10 Hasil Pengujian Fisik Agregat 54
Table 4.11 Persentase Penggabungan Agregat (CA) 55
Table 4.12 Blending Aggregate 56
Table 4.13 Proporsi Campuran Kadar Aspal Rencana 4,78% 63
Table 4.14 Proporsi Campuran Kadar Aspal Rencana 5,28% 63
Table 4.15 Proporsi Campuran Kadar Aspal Rencana 5,78% 64
Table 4.16 Proporsi Campuran Kadar Aspal Rencana 6,28% 64
Table 4.17 Proporsi Campuran Kadar Aspal Rencana 6,78% 64
Table 4.18 Nilai Density tanpa Penambahan LDPE dan Karet ... 66
Table 4.19 Nilai Void in Mix (VIM) Konvensional 68
Table 4.20 Nilai Void in Mineral Aggregate (VMA) 71
Table 4.21 Nilai Void Filled Asphalt (VFA) 73
Table 4.22 Nilai Flow 75

Table 4.23 Nilai Flow Setelah di kalibrasi 78
Table 4.24 Nilai Stabilitas Konvensional 80
Table 4.25 Nilai Marshall Quotient Konvensional.....82
Table 4.26 Nilai Kadar Aspal Optimum.....84
Table 4.27 KAO 6,28% dengan Campuran LDPE + Karet 2%...85
Table 4.28 KAO 6,28% dengan Campuran LDPE + Karet 4%...85
Table 4.29 KAO 6,28% dengan Campuran LDPE + Karet 6%...86
Table 4.30 KAO 6,28% dengan Campuran LDPE + Karet 8%...86
Table 4.31 KAO 6,28% dengan Campuran LDPE + Karet 10%.87
Table 4.32 Nilai Berat Jenis Aspal Modifikasi.....88
Table 4.33 Nilai Kehilangan Berat Aspal Modifikasi 88
Table 4.34 Nilai Penetrasi Aspal Modifikasi.....89
Table 4.35 Nilai Titik Lembek Modifikasi.....89
Table 4.36 Nilai Density dengan penambahan LDPE dan Karet 91
Table 4.37 Nilai VIM dengan penambahan LDPE dan Karet 95
Table 4.38 Nilai VFA dengan penambahan LDPE dan karet.....99
Table 4.39 Nilai Flow dengan penambahan LDPE dan karet ...102
Table 4.40 Nilai stabilitas penambahan LDPE dan karet 104
Table 4.41 Nilai MQ dengan penambahan LDPE dan Karet 107
Table 4.42 Berat campuran per m3 non modif dan modif.....110
Table 4.43 Penentuan Harga HSPK Surabaya 2019.....111

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Luas daratan di Indonesia sebesar 1,905 Juta km^2 namun luas jalan raya di Indonesia jauh dari kata ideal. Seharusnya luas jalan adalah sebesar 14% dari luas wilayah kabupaten, kota, atau provinsi untuk menjamin kelancaran lalu lintas. Sedangkan di Indonesia sendiri, rata-rata luas jalan rata-rata nya kurang dari 10% (*BPS,2017*). Hal ini mendorong pemerintah terus melakukan pembangunan infrastruktur jalan raya. Indonesia berada diposisi ke-2 di dunia dengan jumlah sampah plastik di laut yang mencapai 1.29 juta metrik ton per tahun *(HoeghGuldberg et al., 2018)*.



Gambar. 1.1 Negara dengan limbah plastic terbesar di laut

Sumber: plastic debris entering world ocean

Disisi lain, di Indonesia yang merupakan negara penghasil karet no. 2 terbesar di dunia. Di Indonesia terdapat 14 industri ban

dengan skala nasional yang mampu memasok kebutuhan ban nasional. Industri ban yang ada di Indonesia telah mampu memenuhi kebutuhan ban nasional dengan berbagai tipe. Ban mobil dengan berbagai ukuran dan ban peralatan berat telah dapat dipenuhi. Kapasitas produksi seluruh industri di Indonesia mencapai 77 juta ban mobil, truck, dan bus serta 64 juta ban kendaraan roda dua. Selain mencukupi kebutuhan ban nasional, sebagian industri nasional telah mampu memenuhi kebutuhan ban negara lain seperti Amerika Serikat, Jepang, Asia, Australia dan Eropa *(Humas Kemenperin, 2016).*

Menurut *Gowest.id* data limbah karet di Indonesia menunjukan angka 11 ton dan terus meningkat setiap tahun. Dan untuk pengolahan ban bekas di Indonesia masih sangat terbatas, antara lain hanya untuk pelindung dermaga (fender), tali, sandal, tempat sampah dan kerajinan kursi. Sehingga beberapa tahun ke depan, limbah ban bekas akan menjadi masalah yang cukup serius dan rumit. Karena limbah ban bekas sangat sulit diuraikan oleh lingkungan dan sangat tahan terhadap serangan kimia dan asam. Berdasarkan fakta di atas, kedua permasalahan tersebut dapat diatasi dengan mengembangkan inovasi aspal modifikasi dengan penambahan limbah plastik dan limbah karet yang nantinya akan digunakan dalam pembangunan infrastruktur jalan baru maupun perbaikan jalan di Indonesia.

Plastik memiliki sifat sulit terdegradasi *(nonbiodegradable)* dan diperkirakan membutuhkan waktu 1000 tahun agar dapat *terdekomposisi* (terurai) dengan sempurna. Sedangkan karet, proses daur ulang nya masih sangat minim. Sampah kantong plastik yang ditimbun di tempat pembuangan akhir dapat mencemari tanah dan air tanah sehingga dapat membahayakan kesehatan manusia. Hal ini mendorong kementrian PUPR melalui badan penelitian dan pengembangan (Balitbang) melakukan penelitian pemanfaatan limbah plastik sebagai campuran aspal. Dari kandungan senyawa yang ada pada aspal sangat memungkinkan diperkuat ketahanannya melalui reaksi dengan

bahan polimer sintesis maupun polimer alam. Selain dapat mengoptimalkan karakteristik aspal penggunaan plastik sebagai bahan tambah pada aspal juga dapat mengurangi kerusakan lingkungan karena sebagaimana yang diketahui, plastik yang mulai digunakan sekitar 50 tahun yang silam, kini telah menjadi barang yang tidak terpisahkan dalam kehidupan manusia. Diperkirakan ada 500 juta sampai 1 milyar *plastik low density polyethylene (LDPE)* digunakan penduduk dunia dalam satu tahun. *(Bustamin Abd.R, 2016)*.

Lapis Aspal Beton (LASTON) merupakan suatu lapisan pada konstruksi perkerasan lentur yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihampar, dan dimampatkan dalam keadaan panas dengan suhu tertentu. Berdasarkan uraian diatas, pertumbuhan infrastruktur jalan yang terus meningkat, maka suplai kebutuhan campuran aspal terus meningkat. Disisi lain, limbah plastik dan limbah karet terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian berkelanjutan terhadap inovasi *eco material* penyusun lapisan aspal beton. Adapun judul penelitian yang direncanakan adalah " Penentuan Komposisi Optimum Campuran Limbah Plastik *(Low-Density Polyethylene)* LDPE dan *Rubber Inner Tube* (karet ban dalam) pada Laston AC-BC *(Asphalt Concrete – Binder Course)* sebagai Inovasi *eco material.*

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka diambil suatu rumusan masalah sebagai berikut:

a. Bagaimana cara menentukan kadar aspal optimum campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)* dengan penambahan sampah plastik tipe *low-density polyethylene (LDPE) dan* limbah *Rubber inner tube* (karet ban dalam) ?
b. Bagaimana proporsi campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)* dengan penambahan sampah plastik tipe *low-*

density polyethylene (LDPE) dan limbah *Rubber inner tube* (karet ban dalam) variasi tertentu dan perbandingannya dengan campuran *Asphalt Concrete – Binder Course* (*AC-BC)* Konvensional.

c. Bagaimana menganalisa dan mengevaluasi hasil proporsi campuran *Asphalt Concrete – Binder Course* (AC- BC) dengan tambahan plastik *Low-Density PolyEthylene* (LDPE) dan limbah karet dengan menggunakan metode basah?
d. Bagaimana analisa perbandingan harga campuran Laston Lapis Antara (AC-BC) yang menggunakan limbah plastik tipe LDPE dan *Rubber Inner Tube* serta yang tidak menggunakan limbah plastik tipe LDPE dan *Rubber Inner Tube*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yakni:

a. Untuk mengetahui kadar aspal optimum campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)* dengan penambahan sampah plastik tipe *low-density polyethylene (LDPE) dan* limbah *Rubber inner tube* (karet ban dalam)
b. Untuk mengetahui Rancangan proporsi campuran *Asphalt Concrete – Binder Course* (*AC-BC)* dengan penambahan sampah plastik tipe *Low-Density PolyEthylene (LDPE) dan* limbah karet ban variasi tertentu dan perbandingannya dengan campuran *Asphalt Concrete – Binder Course* (*AC-BC)* Konvensional
c. Untuk mengetahui analisa dan evaluasi campuran *AC-BC* dengan tambahan plastik *Low-Density PolyEthylene* (LDPE) yang dilakukan menggunakan metode basah
d. Untuk mengetahui harga campuran Laston Lapis Antara (AC-BC) yang menggunakan limbah plastik tipe LDPE dan *Rubber Inner Tube* serta yang tidak menggunakan limbah plastik tipe LDPE dan *Rubber Inner Tube*

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian tugas akhir ini dapat terarah dan terencana, maka penulis membuat suatu batasan masalah sebagai berikut:

a. Jenis Perkerasan berupa Lapisan Aspal Beton (LASTON) tipe *Asphalt Concrete – Binder Course* (AC-BC) berdasarkan penelitian sebelumnya (firli, 2019)
b. Jenis Limbah Plastik yang digunakan adalah plastik *Low-Density PolyEthylene* (LDPE), yaitu berupa kantong kresek dan limbah karet
c. Jenis aspal dengan penetrasi 60/70
d. Kadar penambahan plastik dan limbah karet dengan variasi 0%; 2%; 4%; 6%; 8% dengan perbandingan limbah plastik dan limbah karet 50:50 dari berat kadar aspal rencana
e. Tidak membahas kandungan unsur kimia yang terkadung dalam bahan-bahan penelitian dan reaksi kimia yang terjadi pada campuran akibat penggunaan plastik, karet dan aspal.
f. Metode pencampuran menggunakan metode basah.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

a. Memberikan inovasi pengolahan sampah plastik tipe *Low-Density PolyEthylene (LDPE)* sebagai campuran Laston *binder course (AC-BC).*
b. Mengetahui manfaat 2 limbah sekaligus apabila dijadikan bahan pembuat aspal.
c. Dapat mengurangi jumlah sampah plastik dan limbah karet di Indonesia.
d. Dapat meningkatkan kualitas aspal dan nilai tambah plastik maupun karet sebagai bahan konstruksi.
e. Membantu pemerintah dalam memberi solusi permasalahan pencemaran lingkungan akibat limbah plastic dan limbah karet.

1.6 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Transportasi dan Geoteknik, Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aspal

Aspal atau bitumen merupakan material yang berwarna hitam kecoklatan yang bersifat viskoelastis sehingga akan melunak dan mencair bila mendapat cukup pemanasan dan sebaliknya. Sifat viskoelastis inilah yang membuat aspal dapat menyelimuti dan menahan agregat tetap pada tempatnya selama proses produksi dan masa pelayanannya. Pada dasarnya aspal terbuat dari suatu rantai hidrokarbon yang disebut bitumen, oleh sebab itu aspal sering disebut material *berbituminous*.

Aspal dipergunakan konstruksi perkerasan jalan memiliki beberapa fungsi diantaranya sebagai bahan pengikat antara aspal dan agregat, lalu aspal memiliki fungsi sebagai bahan pengisi, yang mengisi rongga antara butir-butir agregat dan pori-pori yang ada. Aspal juga berfungsi sebagai lapisan kedap air, melindungi agregat dari pengaruh garam, asam dan basa. Sifat aspal sendiri yaitu daya tahan, kohesi adesi dan kepekaan terhadap temperatur.

2.2 Pengertian LASTON *(Asphalt Concrete)*

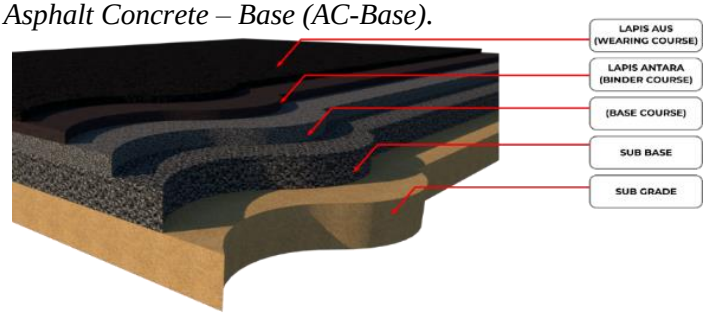
2.2.1 Pengertian umum LASTON

Lapis aspal beton (LASTON) adalah lapisan pada konstruksi jalan raya, yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus *(well graded)* dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Jenis agregat yang digunakan terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan filler, sedangkan aspal yang digunakan sebagai bahan pengikat untuk lapis aspal beton harus terdiri dari salah satu aspal keras penetrasi 40/50, 60/70 dan 80/100 yang seragam, tidak mengandung air bila dipanaskan sampai suhu

175°C tidak berbusa dan memenuhi persyaratan sesuai dengan yang ditetapkan.

Berdasarkan fungsinya LASTON *(Asphalt Concrete)* dapat di klasifikasikan sebagai berikut :

a) Sebagai lapisan permukaan (lapisan aus) yang tahan terhadap cuaca, gaya geser dan tekanan roda serta memberikan lapisan kedap air yang dapat melindungi lapisan dibawahnya dari rembesan air yang dikenal dengan nama *Asphalt Concrete – Wearing Coure (AC-WC).*
b) Sebagai lapisan pengikat atau lapisan antara dikenal dengan nama *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC).*
c) Sebagai lapisan pondasi, jika dipergunakan pada pekerjaan peningkatan atau pemeliharaan jalan, dikenal dengan nama *Asphalt Concrete – Base (AC-Base).*



Gambar. 2.1 Struktur Lapisan Perkerasan Laston

Table 2.2.1 Tabel spesifikasi umum 2018 Laston

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112 (3)
Rasio partikel lolos ayakan 0,075mm dengan kadar aspal efektif	Min.	0,6		
	Maks.	1,2		
Rongga dalam campuran (%) (4)	Min.	3,0		
	Maks.	5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800		1800 (3)
Pelelehan (mm)	Min.	2		3
	Maks	4		6 (3)
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C (5)	Min.	90		
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal) (6)	Min.	2		

2.3 Material Penyusun Campuran LASTON (Asphalt Concrete)

Berdasarkan Spesifikasi umum PU Bina Marga 2018 pasal 6.3.2 ayat 1, adapun ketentuan-ketentuan pemilihan agregat sebagai berikut :

a. Agregat yang akan digunakan dalam pekerjaan harus sedemikian rupa agar campuran beraspal sesuai dengan syarat spesifikasi campuran LASTON.
b. Penyerapan air oleh agregat maksimal 3%.
c. Berat jenis *(Spesific Gravity)* agregat kasar dan agregat halus tidak boleh berbeda lebih dari 0,2.

2.3.1 Agregat Kasar

Agregat penutup harus terdiri dan butiran yang bersih, keras, kerikil pecah atau batu pecah dari bahan yang awet, bebas dari kotoran, lempung, debu atau benda lainnya yang dapat menghalangi penyelimutan yang menyeluruh oleh aspal. Berdasarkan (PU Bina Marga, 2018), spesifikasi umum, pasal 6.2.2 ayat 2, adapun syarat-syarat penerimaan agergat kasar sebagai berikut :

Table 2.2.2 Spesifikasi Agregat kasar

Pengujian			Metoda Pengujian	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 dan SMA	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 6%
		500 putaran		Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran		Maks. 8%
		500 putaran		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal			SNI 2439:2011	Min. 95 %
Butir Pecah pada Agregat Kasar		SMA	SNI 7619:2012	100/90 *)
		Lainnya		95/90 **)
Partikel Pipih dan Lonjong		SMA	ASTM D4791-10 Perbandingan 1 : 5	Maks. 5%
		Lainnya		Maks. 10 %
Material lolos Ayakan No.200			SNI ASTM C117: 2012	Maks. 1%

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

2.3.2 Agregat Halus

Agregat halus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung. Berdasarkan Spesifikasi umum PU Bina Marga 2018, pasal 6.3.2 ayat 3, adapun syarat-syarat penerimaan agergat halus sebagai berikut:

Table 2.2.3 Tabel Spesifikasi Agregat halus

Pengujian	Metoda Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min.50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Agregat Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117: 2012	Maks. 10%

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

2.3.3 Bahan Pengisi *(Filler)*

Berdasarkan Spesifikasi umum PU Bina Marga 2018, pasal 6.3.2 ayat 4, adapun syarat-syarat penerimaan bahan pengisi (Filler) sebagai berikut :

a) Bahan pengisi yang ditambahkan terdiri atas debu batu kapur (*limestone dust, Calcium Carbonate*, CaCO3), atau debu kapur padam yang sesuai AASHTO M303-89 (2014).
b) Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai ASTM C136:2012 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No. 200 (75 micron) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya.

c) Semua campuran beraspal harus mengandung bahan pengisi yang ditambahkan min.1% dari berat total agregat.

2.3.4 Spesifikasi Gradasi Agregat Gabungan

Berdasarkan (PU Bina Marga, 2018), spesifikasi umum pasal 6.3.2 ayat 5, Gradasi agregat gabungan campuran aspal, rancangan & perbandingan campuran untuk gradasi agregat gabungan harus mempunyai jarak terhadap batas-batas yang diberikan. Spesifikasi gradasi agregat gabungan pasal 6.3.2 ayat 5:

Table 2.2.4 spesifikasi Gradasi Agregat Gabungan

Ukuran Ayakan	% Berat yang lolos terhadap total agregat		
	LASTON (AC)		
(mm)	WC	BC	Base
37.5			100
25		100	90-100
19	100	90-100	76-90
12.5	90-100	75-90	60-78
9.5	77-90	66-82	52-71
4.75	53-69	46-64	35-54
2.36	33-53	30-49	23-41
1.18	21-40	18-38	13-30
0.6	14-30	12-28	10-22
0.3	9-22	7-20	6-15
0.15	6-15	5-13	4-10
0.075	4-9	4-8	3-7

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

Adapun ketentuan pengujian agregat diperlukan untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanik agregat sebelum digunakan sebagai bahan campuran beraspal panas. Jenis pengujian agregat diperlihatkan pada tabel dibawah ini :

Table 2.2.5 Standar Pengujian Agregat

Nomor Standar	Judul Pengujian
SNI 03-2417-1991	Metode pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles
SNI 03-4142-1996	Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm).
SNI 03-1968-1990	Metode pengujian tentang analisis saringan agregat halus dan kasar.
SNI 03-4428-1997	Metode pengujian agregat halus atau pasir yang mengandung bahan plastis dengan cara setara pasir
SNI 03-4141-1996	Metode pengujian gumpalan lempungdan butir - butir mudah pecah dalam agregat.
SNI 03-1969-1990	Metode pengujian Berat Jenis dan penyerapan air agregat kasar.
SNI 03-1970-1990	Metode pengujian Berat Jenis dan penyerapan air agregat halus.
SNI 06-2439-1991	Metode pengujian kelekatan agregat terhadap aspal.
Pennsylvania DoT Test No. 621	*Determining the percentage of crushed fragments in gravel.*
AASHTO TP-33	*Test procedure for fine aggregate angularity.*
BS 812-1975	Pemeriksaan kepipihan dan kelonjongan agregat.
SNI 03-3416-1994	Metode pengujian partikel ringan dalam agregat.
ASTM D 75-87	*Sampling aggregates*

Sumber:Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas, 2002

2.3.5 Bahan Aspal untuk Campuran Beraspal

Aspal yang digunakan adalah aspal keras Pen.60-70 sesuai dengan ASTM D946/946M-15, atau aspal emulsi modifikasi polimer *(Polymer Modified Bitumen Emulsion)* pada AASHTO M316-13. Dan pada table berikut digunaakan untuk CRS-2P (aspal emulsi kationik yang dibuat dari aspal yang dimodifikasi dengan *Styrene-Butadiene atau Styrebe-Butadiene Styrene Block Copolymers)* dan CRS-2L (aspal emulsi kationik yang dibuat dari aspal yang dimodifikasi menggunakan senyawa *Styrene-Butadiene Rubber Latex atau Polychloroprene Latex).* Berdasarkan (PU Bina Marga, 2018), spesifikasi umum pasal 6.2.2 ayat 2, spesifikasi bahan aspal yang dapat digunakan sebagai berikut:

Table 2.2.6 Spesifikasi bahan aspal untuk campuran beraspal

No	Sifat	Metoda Pengujian	Satuan	CRS-2P	CRS-2L
	Pengujian pada Aspal Emulsi				
1	Viskositas Saybolt Furol pada 50°C	SNI 03-6721-2002	detik	100 - 400	100 - 400
2	Stabilitas Penyimpanan dalam 24 jam	AASHTO T59-01 (2005)	% berat	Maks. 1	Maks. 1
3	Tertahan saringan No. 20	SNI 3643:2012	% berat	Maks. 0,1	Maks. 0,1
4	Muatan ion	SNI 03-3644-1994	-	Positif	Positif
5	Kemampuan mengemulsi kembali	AASHTO T59-01 (2005)	% berat	Min.40	Min.40
6	Kadar residu dengan destilasi	SNI 03-3642-1994	% berat	Min.65	Min.65
	Pengujian pada Residu Hasil Penguapan				
7	Penetrasi pada 25°C	SNI 2456:2011	0,1 mm	100 - 175	100 - 175
8	Daktilitas 4°C, 5 cm/menit	SNI 06-2432-1991	cm	Min.30	Min.30
9	Daktilitas 25°C, 5 cm/menit	SNI 06-2432-1991	cm	Min.125	Min.125
10	Rasio Gaya (*Force Ratio*)	AASHTO T300-00 (2004)	f2/f1	0,3	tidak digunakan
11	Pengembalian Elastis	AASHTO T301-99 (2003)	% berat	50	tidak digunakan
12	Kadar polimer padat	AASHTO T302-15	% berat	Min.2,5	Min.2,5
13	Kelarutan dalam *Tricloroethylene*	SNI 2438:2015	% berat	Min.97,5*	Min.97,5*

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

2.4 *Rubber Inner Tube* (Limbah Karet Ban Dalam)

Ban merupakan bagian roda yang berfungsi untuk menopang berat motor dan pengendara pada area kecil dan menyalurkan gaya tekan pada saat pengendaraan dan pengereman secara simultan. Ban memiliki kandungan karet alam 44,32%, campuran butadiene 15,24%, minyak aromatic 1,85%, unsur karbon hitam 30,47%, stearic acid 1,07%, antioksidan 0,83%, dan sulfur 1,42%. Ban terdiri dari polimer yang sangat kuat, memiliki fleksibelitas yang tinggi serta ketahanan pergeseran yang tinggi (Warith, 2006)[8]. Ban dalam memiliki resistensi/ketahanan terhadap gas, sehingga memiliki nilai permeabilitas yang tinggi.

Gambar. 2.2 Limbah Karet Ban dalam

2.5 *Low-Density Polyethylene (LDPE)*

Polimer termoplastik seperti *polyethylene* densitas rendah *Low-Density Polyethylene* (LDPE) merupakan bahan komposit polimer komersial yang relatif lebih murah dibandingkan polimer termoset yang tersedia. *(Hamid, 2008). Low-Density Polyethylene* (LDPE) adalah termoplastik yang terbuat dari minyak bumi atau biasa disebut kantong kresek. Bahan ini mudah untuk diolah kedalam bentuk lain sebab memiliki nilai titik leleh rendah yaitu sekitar 100-105ºC. *Low density polystyrene (PS) dan polietilena (PE),* banyak digunakan sebagai bahan pengemas dan yang paling banyak diproduksi di seluruh dunia. LDPE adalah plastik yang sering dipakai untuk tempat makanan, plastik kemasan, dan botol-botol yang bersifat lunak. Plastik LDPE memiliki ciri kuat, agak tembus cahaya, fleksibel dan permukaan agak berlemak. LDPE

mempunyai massa jenis antara 0,91-0,94 gmL-1, separuhnya berupa kristalin (50- 60%) dan memiliki titik leleh 115^{0}C. (Billmeyer, 1971). Secara fisik LDPE lebih fleksibel dan kerapatannya lebih kecil dibandingkan HDPE. LDPE dapat didaur ulang, dan memiliki nomor 4 pada simbol daur ulang.

Gambar. 2.3 Low Density Polyethilene

2.6 Perencanaan Kadar Aspal

Menghitung perkiraan awal nilai kadar aspal optimum (KAO) (Pb) (kimpraswil, 2002)[6], berdasarkan rumus empiris sebagai berikut:

Pb = 0,035 (%CA) + 0,045 (%FA) + 0,18 (% FF) + Konstanta

Pb : Kadar aspal tengah atau ideal, (% terhadap berat campuran)
CA : % agregat tertahan saringan No.8
FA : % agregat lolos saringan No.8 dan tertahan saringan No.200
FF : (filler), % agregat minimal 75% lolos saringan No.200
K : Nilai konstanta (untuk nilai konstanta digunakan ± 0.5 untuk Laston)

2.7 Pengujian *Marshall*

Rancangan campuran berdasarkan metode Marshall ditemukan oleh Bruce Marshall. Pengujian Marshall bertujuan untuk mengukur daya tahan (stabilitas) campuran gregat dan aspal

terhadap kelelehan plastis (*flow*). *Flow* didefinisikan sebagai perubahan deformasi atau regangan suatu campuran mulai dari tanpa beban, sampai beban maksimum. Alat marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *Proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) dan flowmeter. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan flow meter untuk mengukur kelelehan plastis atau flow. Benda uji marshall standar berbentuk silinder berdiamater 4 inchi (10,16 cm) dan tinggi 2,5 inchi (6,35 cm).

2.8 Parameter Pengujian *Marshall*

2.8.1 *Density*

Menurut Roberts, F.L. (1991) bahwa, jika nilai kadar aspal naik maka *density* ikut naik sampai mencapai puncak kemudian akan turun. Hal yang utama adalah kedekatan antara kemampatan yang diperoleh di laboratorium dengan kemampatan yang diperoleh di lapangan setelah beberapa tahun dibebani oleh lalu lintas. Kemampatan yang tinggi akan menghasilkan kemampuan untuk menahan beban yang tinggi pula serta kekedapan terhadap air dan udara yang tinggi. Kepadatan adalah tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan. Kepadatan *(density)* adalah berat campuran pada setiap satuan volume. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi nilai kepadatan yaitu kadar aspal, gradasi agregat, berat jenis agregat, dan proses pemadatan yang meliputi suhu dan jumlah tumbukan. Campuran yang mempunyai nilai kepadatan baik mampu menahan beban yang lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang memiliki kepadatan rendah.

2.8.2 Rongga Dalam Campuran / *Void in Mix* (VIM)

Pengertian *Void In Mix* (VIM) adalah volume total udara yang berada di antara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan, dan dinyatakan dalam persen volume bulk (Puslitbang,2018). *Void In Mix* atau disebut juga rongga dalam campuran digunakan untuk mengetahui besarnya rongga campuran dalam persen. Rongga udara yang dihasilkan ditentukan oleh sususan partikel agregat dalam campuran serta ketidak seragaman bentuk agregat. Rongga udara merupakan indikator durabilitasnya campuran beraspal sedemikian sehingga rongga tidak terlalu kecil atau terlalu besar. Rongga udara dalam campuran yang terlalu kecil dapat menimbulkan *bleeding*. Semakin kecil rongga udara maka campuran beraspal akan makin kedap terhadap air, tetapi udara tidak dapat masuk kedalam lapisan beraspal sehingga aspal menjadi rapuh dan getas. Semakin besar rongga udara dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan lebih cepat.

Persamaan VIM :

$$VIM = 100 \times \frac{\boldsymbol{Gmm} - \boldsymbol{Gmb}}{\boldsymbol{Gmm}} \qquad \textbf{Pers. 2.1}$$

Keterangan :

VIM : Rongga udara dalam campuran, %total campuran.
Gmm : Berat jenis maksimum campuran, rongga udara (gr/cm³) Gmb : Berat jenis bulk campuran padat (gr/cm³)

Untuk nilai syarat persen VIM ditentukan berdasarkan jenis lapisan permukaan yang dipilih misalnya untuk lapisan *Asphalt Concrete (AC)* atau biasa dikenal dengan aspal beton nilainya antara 3,5-5 % persyaratan ini berdasarkan Bina Marga tahun, 2018.

2.8.3 Rongga dalam Agregat / *Void in Mineral Aggregate* (VMA)

Pengertian rongga dalam mineral / void in mineral agreggate (VMA) adalah rongga antar butiran kecil menyebabkan aspal menyelimuti agregat terbatas, sehingga menyebabkan terjadinya kerusakan. Nilai VMA akan meningkat seiring dengan bertambahnya selimut aspal atau agregat yang digunakan bergradasi terbuka.

Pengetian VMA berdasarkan Puslitbang,2018[13] adalah volume rongga yang terdapat di antara partikel agregat suatu campuran yang telah dipadatkan, yang dinyatakan dalam persen terhadap volume total benda uji.

2.8.4 Rongga Terisi Campuran Beraspal / *Void in Filled With Asphalt* (VFA)

Menurut Puslitbang,2018 pengertian VFA adalah bagian dari rongga yang berada diantara mineral agregat (VMA) yang terisis aspal efektif dinyatakan dalam persen. Dan secara umum rongga terisi campuran aspal adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat VMA yang terisi oleh aspal, tetapi tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Untuk mendapatkan nilai VFA ditentukan persamaan berikut :

Persamaan VFA :

$$VFA = \frac{100(VMA - VIM)}{Gmm} \qquad \textbf{Pers. 2.2}$$

Keterangan :

VFA : Rongga terisi aspal (%)
VMA : Rongga diantara mineral (%)
VIM : Rongga udara campuran, % total campuran
Gmm : Berat jenis maksimum campuran.

Untuk nilai VFA yang disyaratkan oleh Bina Marga tahun 2018 minimum adalah 65%.

2.8.5 Stabilitas *Marshall*

Menurut *The Asphalt Institute*, Stabilitas adalah kemampuan campuran aspal untuk menahan deformasi akibat beban yang bekerja tanpa mengalami deformasi permanen seperti gelombang, alur ataupun bleeding yang dinyatakan dalam satuan kg atau *lb*. Nilai stabilitas diperoleh dari hasil pembacaan langsung pada alat *Marshall Test* sewaktu melakukan pengujian Marshall. Nilai stabilitas yang terlalu tinggi akan menghasilkan perkerasan yang terlalu kaku sehingga tingkat keawetannya berkurang.

2.8.6 Kelelehan *(Flow)*

Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas, nilai *flow* merupakan nilai dari masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial (mm) pada saat melakukan pengujian *Marshall*. Suatu campuran yang memiliki kelelehan yang rendah akan lebih kaku dan cenderung untuk mengalami retak dini pada usia pelayanannya, sedangkan nilai kelelehan yang tinggi mengindikasikan campuran bersifat plastis.

2.8.7 *Marshall Quotient (MQ)*

Marshall Quotient merupakan hasil perbandingan antara stabilitas dengan kelelehan (*flow*). Semakin tinggi MQ, maka akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan. Berikut ini persamaan untuk nilai MQ :

Persamaan *Marshall Quotient* :

$$MQ = S / F \qquad \textbf{Pers. 2.3}$$

Keterangan:

MQ : *Marshall Quotient* (kg/mm).
S : Nilai stabilitas terkoreksi (kg).
F : Nilai *flow* (mm).

2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian pemanfaatan limbah plastik LDPE dan Limbah Karet sebagai material pengganti aspal telah banyak dilakukan sebelumnya. Berikut uraian penelitia terdahulu :

a. Penelitian Tjitjik Wasiah Suroso et al. (2008)

Pengaruh Penambahan Plastik LDPE *(Low-Density Poly Ethilene)* Cara Basah Dan Cara Kering Terhadap Kinerja Campuran Beraspal. (Suroso, 2008)[14]. Beliau menggunakan proporsi campuran plastik pada aspal 3%; 3,5%; 4% dan menggunakan Metode Kering dan Metode Basah, Hasil yang di dapat :

kinerja pencampuran cara basah lebih baik dari cara kering Stabilitas dinamis campuran basah (lebih tinggi 7,1%), kecepatan deformasi campuran cara kering 20% lebih rendah

dari campuran cara basah, hal ini kemungkinan disebabkan pada campuran secara basah plastik yang ditambahkan seluruhnya dapat bercampur dengan aspal.

Perbandingan hasil nilai *Marshall:*

Cara Basah		**Cara Kering**	
Stabilitas (kg)	= 1290.9	Stabilitas (kg)	= 1275.1
MQ	= 314.09	MQ	= 300.6
Stabilitas dinamis	= 4050	Stabilitas Dinamis	= 3500
Kec.Deformasi	= 0.010	Kec.Deformasi	= 0.012

a. Bustamin Abd Razak dan Andi Erdiansa et al. (2016)

Karakteristik Campuran AC-WC dengan Penambahan limbah plastik *Low Density Polyethylene(LDPE).* (Erdiansa, 2016) dengan proporsi campuran plastik pada aspal 1%; 2%; 3%; 4%; dan 5% namun metode Pencampurannya tidak disebutkan, hasil yang didapat sebagai baerikut :

- Penambahan Plastik memengaruhi nilai stabilitas aspal dan MQ, Semakin tinggi nilai kadar aspal maka nilai Marshall Quotient semakin menurun, artinya semakin bertambahnya kadar aspal akan menyebabkan campuran menjadi getas, sedangkan penambahan plastik pada aspal menyebabkan peningkatan dan penurunan nilai Marshall Quotient, jadi dalam pengujian ini dpat dikatakan bahwa penambahan plastik pada campuran akan mempengaruhi nilai Marshall Quotient.Pada stabilitas, campuran kekuatannya meningkat (stabilitas naik) kecuali pada campuran kadar aspal 6.06% (kadar plastik 4%). Pada campuran aspal murni (plastik 0%) nilai stabilitasnya 1811 kg, sedangkan pada campuran kadar aspal 5.99% (kadar plastik 5%) memiliki nilai stabilitas 2350 kg mengalami kenaikan stabilitas yang sangat tinggi, sehingga dapat dikatatakan bahwa dalam pengujian ini, penambahan plastik mempengaruhi nilai stabilitas.

b. Karakteristik *Asphalt Concrete Wearing Course* akibat penambahan Karet Alam Padat *SIR20* dengan Metode Eksperimental, (Suherman Sulaiman) hasil yang didapat :

Campuran modifikasi asphalt concrete wearing course dengan penambahan karet alam padat menghasilkan perbaikan terhadap karakteristik pada beberapa aspek, diantaranya adalah kepadatan, rongga dalam campuran dan stabilitas. Lalu berdasarkan analisis pada kadar aspal optimum, campuran aspal modifikasi karet mencapai kondisi optimum pada campuran aspal dengan kadar karet alam padat SIR20 8,0%, dimana terjadi peningkatan kepadatan sebesar 0.86% dari nilai 2,32 gr/cc menjadi 2,33 gr/cc serta peningkatan stabilitas sebesar 8,39% dari nilai 1.251 kg menjadi 1.355,96 kg. untuk mendapatkan kadar karet yang optimum, diperlukan variasi yang lebih banyak, karena kecenderungan stabilitas masih meningkat, serta diperlukan pengujian pada jenis campuran aspal yang lain untuk lebih memahami pengaruh karet alam padat SIR 20 terhadap karakteristik campuran aspal.

c. Karakteristik *Asphalt Concrete Wearing Course* akibat penambahan Karet Alam Padat SIR20 dengan Metode Eksperimental, (Suherman Sulaiman)

hasil yang didapat:

a. Campuran modifikasi asphalt concrete wearing course dengan penambahan karet alam padat menghasilkan perbaikan terhadap karakteristik pada beberapa aspek, diantaranya adalah kepadatan, rongga dalam campuran dan stabilitas.
b. Berdasarkan analisis pada kadar aspal optimum, campuran aspal modifikasi karet

mencapai kondisi optimum pada campuran aspal dengan kadar karet alam padat SIR20 8,0%, dimana terjadi peningkatan kepadatan sebesar 0.86% dari nilai 2,32 gr/cc menjadi 2,33 gr/cc serta peningkatan stabilitas sebesar 8,39% dari nilai 1.251 kg menjadi 1.355,96 kg.

c. Untuk mendapatkan kadar karet yang optimum, diperlukan variasi yang lebih banyak, karena kecenderungan stabilitas masih meningkat.
d. Diperlukan pengujian pada jenis campuran aspal yang lain untuk lebih memahami pengaruh karet alam padat SIR 20 terhadap karakteristik campuran aspal.

d. Evaluation the EFFECT OF WASTE LO-DENSITY POLYTHLENE AND CRUMBRUBBER ON PHSICAL PROPERTIES OF ASPHALT

Hasil yang di dapat :

a. Setelah dicampur dengan CRM dan LDPE aspal menunjukkan peningkatan viskositas dan titik pelunakan, serta penurunan penetrasi dibandingkan dengan yang tidak dimodifikasi pengikat aspal). Sementara tetap dan lebih lambat tingkat penurunan penetrasi sudah jelas dengan CRM yang lebih tinggi (34% dan 38% saat meningkatkan persentase CRM menjadi 15% dan 25%, masing-masing) dan, itu meningkat dari titik awal pelunakan aspal yang rapi pengikat sama dengan 52 ° C sampai 54 ° C pada (2,5%: 15%), lalu 58 ° C, 63 ° C pada (5%: 15%), (7.5%: 15%)

dan akhirnya mencapai 70 ° C pada (10%: 15%) aditif LDPE / CRM, menunjukkan bahwa CRM / LDPE dimodifikasi aspal menjadi lebih tahan deformasi dan lebih keras di normal dan suhu tinggi.

b. Penambahan Crumb Rubber sebesar 15.0%
Pengubah menjadi pengikat aspal, diproses pada 180 ºC selama 0,5 jam, menghasilkan hasil yang menakjubkan modifikasi dalam respon reologi. Viskositas pengikat aspal CRM, dalam kisaran suhu terdiri antara 135ºC – 175 ºC, meningkat dengan Crumb Rubber konten dan jelas lebih kental daripada sesuai pengikat rapi dan diproses.

c. Titik lunak dapat ditingkatkan, dan
kinerja suhu tinggi / rendah dapat ditingkatkan untuk aspal baris, kapan menggabungkan modifikasi pengikat aspal oleh LDPE dan CRM. Jumlah LDPE tersebut lebih berpengaruh pada suhu tinggi kinerja, sedangkan limbah CRM bisa meningkatkan retak suhu rendah perlawanan.

d. Dimasukkannya CRM meningkatkan kekakuan pengikat aspal dan pada gilirannya meningkatkan kekakuan campuran aspal pada tingkat menengah suhu (20◦C), yang mengurangi potensi retak perkerasan di suhu menengah dan kelelahan retak

2.10 Hubungan dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang pemanfaatan limbah plastik dan limbah karet ban sebagai inovasi material pada campuran aspal telah banyak dilakukan. Hal tersebut, dapat di tinjau dari banyaknya *paper* atau jurnal ilmiah yang membahas hal tersebut. Adapun yang dapat saya simpulkan berdasarkan penelitian dengan topik "Pemanfaatan limbah plastik dan limbah karet ban sebagai campuran AC-BC" sebagai berikut :

1. Dilakukan menggunakan metode basah.
2. Penentuan KAO secara general, yang menyebabkan nilai hasil parameter marshall pada benda uji tidak maksimal, karena dalam penggunaan nya setiap proporsi kadar plastik yang di campurkan, memiliki nilai KAO yang berbeda beda.
3. Dalam penelitian sebelumnya, belum banyak dijelasakan secara detail hasil parameter *marshall* setelah diuji, rata rata hanya memberikan hasil akhir pengaruh terbesar pada parameter uji *marshall* dan rata rata menyimpulkan hanya parameter stabilitas.
4. Kadar plastik yang digunakan yaitu antara 0% - 8%.

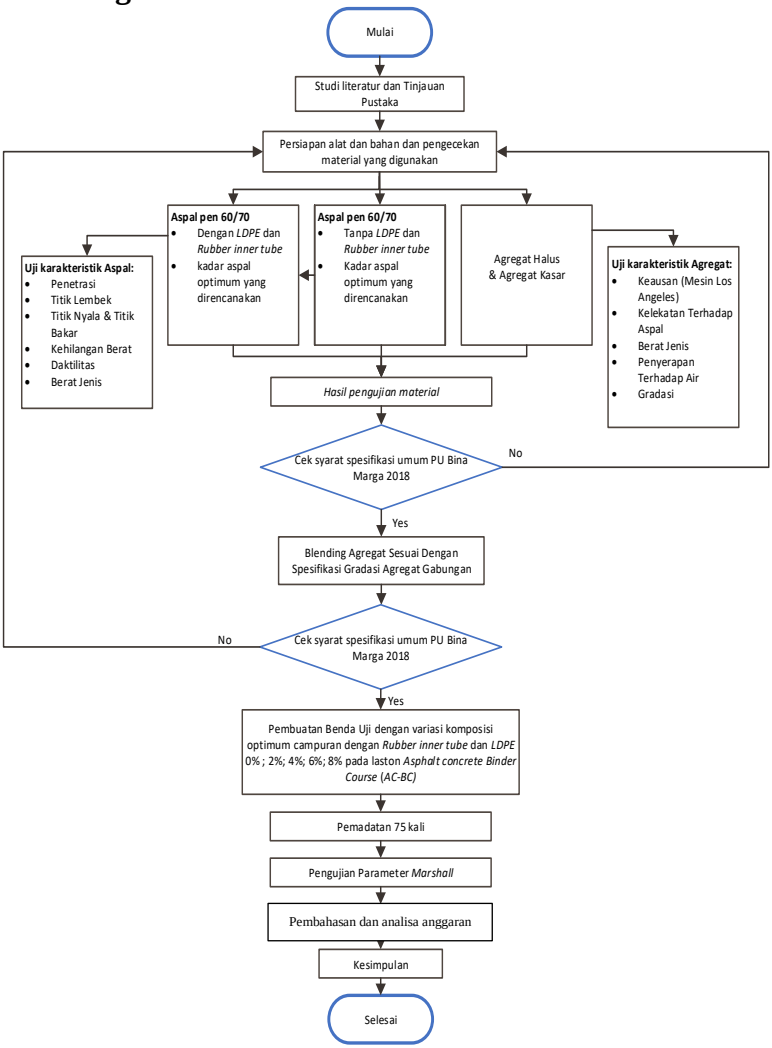
Berdasarkan uraian diatas, adapun fokusan penelitian ini mengacu pada hasil penelitain terdahulu yaitu sebagai berikut :

1. Peneliti akan menggunakan Metode pencampuran Basah
2. Menggunakan KAO berdasarkan perhitungan pada setiap penambahan plastik dan karet pada aspal
3. Menjelasakan secara rinci hasil parameter marshall terhadap acuan terkait.
4. Kadar plastik dan karet yang digunakan adalah perbandingan 50:50 dengan presentase 2% ; 4% ;6% ;8% ;10% mengacu pada penelitian terdahulu dengan benda uji sebanyak 3 buah di setiap penambahan proporsi plastik dan karet pada aspal rencana.

5. Pencampuran LDPE bertujuan untuk meningkatkan stabilitas aspal, namun menyebabkan nilai VIM (rongga dalam campuran) yang cenderung meningkat sehingga menyebabkan getas pada aspal.. Penambahan limbah karet ban dalam sendiri berfungsi untuk menstabilkan dengan tujuan agar fleksibel dan memiliki ketahanan deformasi yang baik.
6. Memanfaatkan limbah karet dan plastik dengan densitas rendah.

BAB III
METODOLOGI PENILITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dan diuji di Lab. TransGeo Departmen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

3.3 Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan agar penelitian lebih terarah dan mengetahui Batasan Batasan masalah dari penelitian yang akan direncanakan. Studi literatur harus dilakukan dari awal penelitian hingga akhir penelitian. Hal ini dilakukan agar penulis mendapatkan gambaran hal-hal apa saja yang harus dilakukan. Penulis juga diharapkan mendapatkan acuan dari beberapa kesimpulan di beberapa hasil dari literatur tersebut sehingga memudahkan dalam melakukan penelitian.

Pada penelitian ini, literatur yang digunakan beruapa spesifikasi material seperti agregat, aspal, filler serta bahan additive. Literatur mengenai Laston AC-BC juga perlu ditinjau lebih jauh, bagaimana pemanfaatan limbah plastic tipe *LDPE* dan *Rubber inner tube* juga perlu ditinjau lebih dalam. Karena kombinasi kombinasi tersebut memerlukan sedikti banyak literatur sebelum mengkombinasikan nya menjadi suatu inovasi baru terkait *eco material* dan pemanfaatan limbah sebagai *tools* untuk meningkatkan stabilitas aspal. Sumber literatur yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Peraturan Menteri PU Bina Marga, SNI yang berhubungan dengan penelitian, buku penunjan penelitian, serta jurnal – jurnal yang diperoleh di Internet.

3.4 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut :

A. Limbah plastik *Low-Density Polyethilene* (LDPE)

LDPE adalah termoplastik yang terbuat dari minyak bumi atau biasa disebut kantong kresek. Bahan ini mudah untuk diolah kedalam bentuk lain sebab memiliki nilai titik leleh rendah yaitu sekitar 100-105^{o}C.

B. Agregat Kasar dan Agregat Halus

Gambar. 3.1 Agregat 10-20 mm ; 10-10mm ; 5-10mm

Pada penelitian ini digunakan beberapa jenis agregat yang meliputi agregat kasar ukuran (10-20 mm), (10-10 mm) dan (5-10 mm) serta abu batu dengan ukuran (0-5 mm). Agregat ini diperoleh dari *Asphalt Mixing Plant* (AMP) dari Jombang, Jawa Timur. Kemudian sebelum digunakan, agregat ini harus di goreng terlebih dahulu hingga beratnya tetap. Pada penelitian ini tidak digunakan filler dikarenakan pada saat pengujian analisa saringan dan *combined agregate 3 material tersebut* sudah memenuhi spesifikasi.

C. Aspal Penetrasi 60/70

Gambar. 3.2 Aspal Penetrasi 60/70

Pada penelitian ini digunakan aspal dengan penetrasi 60/70. Aspal ini kemudian akan di uji sebelum nantinya akan dijadikan campuran pembuatan benda uji sesuai dengan spesifikasi Laston lapis antara.

3.4.1 Alat Uji Aspal

Dalam pengujian aspal, dibutuhkan alat uji yang meliputi :

- Alat uji penetrasi

  Alat yang digunakan dalam uji penetrasi meliputi cawan, termometer, penetrometer, dan jarum penetrasi.
- Alat uji titik lembek

  Alat yang digunakan dalam uji titik lembek meliputi termometer, cincin kuningan, bola baja (diameter 9,35 mm; berat 3,45 sampai 3,55 gram), alat pengarah bola, bejana gelas, dudukan benda uji, dan penjepit.
- Alat uji titik nyala dan titik bakar

  Alat yang digunakan dalam uji titik nyala dan titik bakar meliputi kompor listrik, cleveland open cup, termometer, penjepit termometer, nyala penguji, dan stopwatch.

- Alat uji kehilangan berat

  Alat yang digunakan dalam uji kehilangan berat meliputi termometer, oven, cawan, serta neraca analitik.
- Alat uji daktilitas

  Alat yang digunakan dalam uji daktilitas meliputi cetakan kuningan, bak perendam, termometer, mesin uji yang dapat menjaga sampel tetap terendam, dan alat pemanas.
- Alat uji berat jenis

  Alat yang digunakan dalam uji berat jenis meliputi piknometer, oven, timbangan elektrik, dan corong kaca.

3.4.2 Alat Uji Agregat

Dalam pengujian agregat, dibutuhkan alat uji yang meliputi :

- Alat uji analisa saringan

  Alat yang digunakan dalam uji analisa saringan meiputi satu set saringan (ukuran ¾", ½", 3/8", no. 4, no. 8, no. 30, no. 50, no. 100, no. 200), neraca analitik, oven yang dilengkapi pengatur suhu, loyang, mesin penggoyang saringan, dan sendok.
- Alat uji berat jenis

  Alat yang digunakan dalam uji berat jenis agregat meliputi timbangan kapasitas 5 kg, penggantung keranjang, keranjang kawat, bak perendam, oven, alat pemisah, saringan no. 4, dan pan.
- Alat uji penyerapan terhadap air

  Alat yang digunakan dalam uji penyerapan terhadap air meliputi timbangan kapasitas 5 kg, penggantung keranjang, keranjang kawat, bak

perendam, oven, alat pemisah, saringan no. 4, dan pan.

3.4.3 Alat Uji Marshall

Dalam pengujian Marshall, dibutuhkan alat uji yang meliputi :

- Alat tekan *Marshall* yaitu kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji kapasitas (5000 *lbs*) yang telah dilengkapi arloji pengukur *flow* meter
- Alat cetak benda uji bentuk silinder, dengan dimensi diameter 4 *inch* dan tinggi 3 *inch*
- *Marshall automatic compactor*, untuk pemadatan campuran
- Ekstruder, untuk mengeluarkan benda uji setelah pemadatan
- Bak perendam
- Alat penunjang meliputi wajan penggorengan, kompor pemanas, thermometer, pengaduk, sarung tangan, kain lap, timbangan, ember, jangka sorong atau penggaris, spidol atau tipe-x untuk menandai benda uji

3.5 Pemeriksaan Material

Pemeriksaan materia dilakukan untuk menguji material berupa aspal, agregat, *filler*, serta *additive* telah memenuhi spesifikasi atau tidak. Jika material sudah memenuhi spesifikasi fisik serta spesifikasi Laston Lapis Antara, maka bisa dilakukan tahap selanjutnya, namun jika tidak, harus dilakukan pengecekan ulang, atau mengganti material yang sudah ada. Pemeriksaan material meliputi :

3.5.1 Pemeriksaan Aspal

Aspal yang digunakan merupakan aspal penetrasi 60/70. Aspal ini kemudian di uji agar dapat diketahui memenuhi spesifikasi atau tidak. Jenis pengujian aspal dan tata caranya meliputi :

a. Uji penetrasi

Uji penetrasi menggunakan peraturan SNI 06-2456-1991. Dimana metode pelaksanaan uji pentrasi yakni pertama dilakukan pemanasan aspal hingga cair kemudian menuangkannya kedalam tin box. Setelah itu direndam dalam air selama 1-1,5 jam dalam suhu konstan 15°C - 30°C. Selanjutnya benda uji dimasukkan kedalam tempat air dan diletakkan dibawah alat penetrasi yang telah dipasang jarum dengan pemberat total 100 gr. Jarum kemudian diturunkan hingga menyentuh permukaan benda uji, kemudian diatur hingga pentrometor ada di angka nol. Selanjutnya dilakukan penetrasi hingga penetrometer berputar dan catatlah angka penetrasinya. Pengujian ini dilakukan minimum 5x test dalam contoh benda uji yang sama.

b. Uji titik lembek

Uji titik lembek menggunakan peraturan SNI 06-2434-1991. Pada pelaksanaan uji titik lembek, hal pertama yang harus dilakukan adalah memanaskan aspal hingga cair. Kemudian menyiapkan 2 buah cincin dan letakkan diatas pelat kuningan yang telah dilapisi sabun. Tuangkan aspal cair kedalam 2 cincin tersebut. Setelah dingin, pasang dan aturlah kedua benda uji diatas kedudukannya dan letakkan

pengarah bola diatasnya, kemudian masukkan seluruh peralatan tersebut kedalam bejana gelas dan isilah dengan air dengan suhu 5°C. Letakkan termometer diantara kedua benda uji. Setelah diperiksa dan diatur jarak pelatnya, letakkan bola baja diatas masing – masing benda uji. Panaskan gelas hingga kenaikan 5°C per menit. Kemudian catat suhu pada saat setiap bola menyentuh pelat dasar.

c. Uji titik nyala dan titik bakar

Uji titik nyala dan titik bakar menggunakan peraturan SNI 06-2433-1991. Pada pelaksanaan uji titik nyala dan titik bakar, hal pertama yang harus dilakukan adalah memanaskan aspal hingga cair dan tuangkan kedalam cawan cleveland. Kemudian letakkan cawan diatas pelat pemanas dan aturlah sumber pemanas hingga terletak dibawah titik tengah cawan. Letakkan pembakar bunsen dititik tengah cawan, letakkan dan atur termometer tegak lurus diatas benda uji. Nyalakan bunsen dan atur pemanas sehingga kenaikan suhu konstan 15°C per menit sampai suhu 56°C dibawah titik nyala perkiraan. Atur kecepatan pemanasan 5°C - 6°C per menit pada suhu antara 56°C dan 28°C dibawah titik nyala perkiraan. Putar batang nyala bunsen melalui permukaan cawan dalam waktu 1detik, ulangu tiap kenaikan 2°C. Ulangi prosedur tersebut hingga terlihat nyala singkat pada suatu diatas permukaan benda uji, baca temperatur dan catat (titik nyala). Lanjutkan prosedur hingga terlihat nyala agak lama lebih dari 3 detik, baca temperatur dan catat (titik bakar).

d. Uji kehilangan berat

Uji kehilangan berat menggunakan SNI 06-2441-1991. Pada pelaksanaan uji kehilangan berat, hal pertama yang harus dilakukan adalah memanaskan aspal hingga cair

dan tuangkan kedalam tin box. Kemudian dinginkan dengan cara merendamnya dalam air selama ±1,5 jam. Setelah dingin, timbang benda uji dan catat hasilnya. Selanjutnya panaskan benda uji dalam oven dengan suhu 156°C selama ±5 jam. Timbang dan catat benda uji yang sudah di Oven. Dinginkan benda uji dalam air, kemudian setelah dingin timbang dan catatlah beratnya. Setelah itu hitunglah kehilangan beratnya.

e. Uji daktilitas

Uji daktilitas menggunakan peraturan SNI 06-2432-1991. Pertama siapkan cetakan daktilitas yang telah dilapisi dengan sabun. Kemudian panaskan aspal hingga cair dan tuangkan kedalam cetakan. Setelah itu direndam dalam air selama 30 menit dalam suhu konstan 25°C. Kemudian lepaskan contoh dari pelat dasar dan sisi – sisi cetakannya. Setelah itu pasang benda uji pada mesin daktilitas dan tarik benda uji secara teratur dengan kecepatan 5 cm per menit sampai benda uji putus. Catatlah hasilnya saat benda uji telah putus.

f. Uji berat jenis

Uji berat jenis menggunakan peraturan SNI 06-2441-1991. Pertama timbang piknometer kosong. Kemudian isilah piknometer dengan air hingga penuh, tutuplah dan timbang beratnya. Setelah itu panaskan aspal hingga cair dan tuangkan kedalam piknometer sampai batas 40 ml. Biarkan piknometer hingga dingin, dan timbang beserta tutupnya. Kemudian isilah piknometer yang berisi aspal dengan air hingga penuh, tutuplah dan timbang.

3.5.2 Pemeriksaan Agregat

Agregat yang digunakan adalah agregat kasar dan agregat halus. Agregat ini kemudian di uji agar dapat diketahui memenuhi spesifikasi atau tidak. Jenis pengujian agregat dan tata caranya meliputi :

a. Analisa Saringan

Uji analisa saringan menggunakan spesifikasi gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal pada tabel 2.1. Untuk analisa saringan agregat kasar, harus disiapkan 2500 gram agregat yang telah dikeringkan dan bagi menjadi 2. Kemudian susun saringan dari ukuran paling besar hingga paling kecil, dan pan berada paling bawah. Masukkan agregat yang sudah disiapkan kedalam saringan paling atas dan tutuplah. Guncang menggunakan mesin selama 15 menit. Setelah berhenti, timbang setiap agregat yang tertahan pada masing – masing saringan dan catat.

b. Uji berat jenis

Uji berat jenis agregat kasar menggunakan peraturan SNI 1969-2008 dan agregat halus menggunakan peraturan SNI 1970-2008. Untuk penyerapan agregat halus, pertama harus menimbang piknometer kososng. Kemudian timbang piknometer yang diisi air hingga batasnya. Setelah itu harus disiapkan agregat halus kondisi SSD dengan cara pengeujian beberapa kali pada kerucut. Jika sudah mencapai kondisi SSD, maka ambil sebanyak 500 gram. Setelah itu masukkan kedalam piknometer yang sudah ditimbang beratnya. Kemudian isilah dengan air hingga 90% isi piknometer, putar sambil diguncang untuk mengeluarkan udaranya. Tambahkan air lagi hingga tanda batas, kemudian timbang.

Keluarkan benda uji, keringkan dalam oven kemudian dinginkan dan timbang beratnya.

Untuk penyerapan agregat kasar, timbang 2000 gram agregat kasar kemudian rendam dalam air selama minimal 4 x 24 jam. Keluarkan benda uji dalam air, dan masukkan kedalam keranjang dan timbanglah dalam air. Setelah itu keluarkan benda uji dan lap permukaannya hingga kondisi kering permukaan (SSD) dan timbanglah.

c. Uji keausan agregat

Uji keausan agregat menggunakan peraturan SNI 2417-2008. Pertama harus menentukan keausan agregat dengan cara apa. Disini penulis menggunakan cara B, dimana harus disiapkan benda uji yang lolos ayakan ¾" dan tertahan ayakan 3/8" dengan jumlah bola baja 11 dan jumlah putaran 500. Kemudian siapkan agregat tertahan ayakan ½" sebanyak 2500 gram dan agregat tertahan ayakan 3/8" sebanyak 2500 gram. Masukkan agregat dan bola baja kedalam mesin *los angeles*. Putar dengan jumlah putaran sebanyak 500 putaran. Selesai pemutaran, keluarkan benda uji dari mesin kemudian saring dengan saringan no. 12. Timbang dan catatlah benda uji yang tertahan saringan no. 12.

d. Uji penyerapan terhadap air

Uji penyerapan terhadap air menggunakan peraturan SNI 1969-2008.

3.6 Pencampuran Limbah Plastik dan Limbah Karet

Pencampuran limbah plastik menggunakan metode *wet process* (metode basah). Cara pencampurannya ialah aspal yang telah dipanaskan hingga suhu 170^{O}C, limbah plastik

dan limbah karet dicampurkan pada aspal dan di aduk-aduk hingga homogen.

3.7 Tahapan Peneltian

3.7.1 Persiapan

Menyiapkan bahan, serta alat-alat yang akan digunakan. Mendata dan ceklist kembali bahan dan alat yang di perlukan nantinya serta menjaga alat alat agar tetap berfungsi dengan baik.

3.7.2 Pengujian (Kadar Aspal Optimum) KAO

Berdasarkan alur pada penelitian ini, benda uji yang pertama di buat yaitu untuk pengujian kadar aspal optimum (KAO), Untuk menentukan kadar aspal optimum yaitu kadar aspal efektif yang membungkus atau menyelimuti butir – butir agregat, mengisi pori antar agregat, ditambah dengan kadar aspal yang akan terserap masuk kedalam pori masing – masing butir agregat. Dalam merencanakan campuran aspal, harus dilakukan perhitungan perkiraan awal kadar aspal optimum (Pb) sebagai berikut :

Pb = 0,035 (%CA) + 0,045 (%FA) + 0,18 (% FF) + Konstanta

Dimana ,

Pb : Kadar aspal ideal, (% terhadap berat campuran)
CA : % agregat tertahan saringan No.8
FA : % agregat lolos saringan No.8 & tertahan saringan No.200
FF : % agregat minimal 75% lolos saringan No.200
K : Nilai konstanta (0.5 -1 untuk Laston)

Setelah dilakukan perhitungan kadar aspal optimum (Pb), maka harus dilakukan perkiraan awal penyerapan aspal yang diperoleh dari nilai penyerapan air agregat. Kemudian hasil Pb dijumlahkan dengan hasil penyerapan aspal dan akan didapatkan nilai perkiraan kadar aspalnya. Nilai perkiraan kadar aspal ini kemudian dibuat menjadi beberapa variasi yakni (Pb-1), (Pb-0,5), Pb, (Pb+0,5), dan (Pb+1). Lalu dilakukan Analisa *uji marshall* dan parameternya, maka diperoleh nilai KAO. Setelah mendapatkan KAO, dilakukan pembuatan benda uji dengan penambahan limbah plastik dan limbah karet dengan presentase yang sudah direncanakan.

3.7.3 Pembuatan Benda Uji

Berikut adalah tahapan dalam pembuatan benda uji :

a. Pengujian agregat, filler maupun aspal agar sesuai dengan ketentuan Peraturan Umum Bina Marga 2018.
b. Merancang komposisi campuran, hal yang harus dilakukan adalah menghitung berat aspal, agregat dan bahan tambahan sesuai variabel penelitian. Berat masing – masing benda uji adalah 1200 gr.
c. Kemudian dibuat masing – masing 3 benda uji untuk setiap aspal dengan bahan tambahan karet dan limbah plastic LDPE ; 2%; 4%; 6% 8% dan 10% dengan perbandingan 50:50
d. Memanaskan aspal kemudian dimasukkan karet dengan ukuran 10 – 10 mm dengan suhu 175^{o}C dan diaduk hingga homogen.
e. Setelah aspal dan limbah karet telah menjadi homogen, masukkan campuran LDPE dengan proporsi yang sama dengan persentase limbah karet dengan ukuran 5-5 mm dan suhu 170^{o}C dan diaduk hingga homogen.

f. Kemudian melakukan pemadatan standar dengan alat *Marshall Automatic Compactor* dengan jumlah tumbukan 75 kali.
g. Benda uji didiamkan agar suhunya turun, setelah itu dikeluarkan dengan ejektor dan diberi kode dengan penanda. Lalu ditimbang.
h. Kemudian benda uji dikeluarkan dari bak perendam dan dikeringkan dengan kain lap sampai permukaan kering dan didapatkan berat benda uji kering permukaan *(saturated surface dry, SSD)* kemudian ditimbang dan mendapatkan hasilnya.

Gambar. 3.3 Sampel Benda Uji

3.8 Pengujian Marshall

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelehan (*flow*) dari campuran aspal sesuai dengan SNI 06-2489-1991 dengan dilakukan pembebanan dengan kecepatan tetap (2 *inch*.) per menit, dibaca pada saat arloji pembebanan berhenti dan mulai kembali berputar menurun, pada saat itu pula dibaca arloji kelelehan. Titik pembacaan pada saat arloji pembebanan berhenti dan mulai kembali menurun, itu merupakan nilai stabilitas *Marshall.* Berikut tata cara pengujian dengan alat marshall :

- Keluarkan benda uji dari bak perendam dan letakkan ke dalam segmen bawah kepala penekan.
- Pasang segmen atas benda uji, lalu letakkan segmen ke dalam mesin penguji.
- Pasang arloji pengukur alir *(flow)* pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan.
- Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan & benda ujinya dinaikkan sehingga menyentuh alas cincin penguji.
- Atur jam arloji tekan pada kedudukan angka nol.
- Berikan pembebanan pada benda uji dengan kecepatan tetap sekitar 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai atau pembebanan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum *(stability)* yang dicapai.
- Catat nilai alir *(flow)* yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur alir pada saat pembebanan maksimum tercapai.

3.9 Pengelolaan dan Pembahasan Hasil

Hasil pengolahan akan diuraikan dalam bentuk grafik hubungan antara kadar aspal dan parameter Marshall, yaitu gambar grafik hubungan antara:

- Kadar aspal terhadap kepadatan
- Kadar aspal terhadap VIM
- Kadar aspal terhadap VMA
- Kadar aspal terhadap VFA
- Kadar aspal terhadap stabilitas
- Kadar aspal terhadap *flow*
- Kadar aspal terhadap *Marshall Quotient* (MQ)

3.10 Tata Cara Pelaksanaan Pencampuran

Teknik pencampuran yang digunakan yakni cara basah (wet process), yaitu pencampuran dimana plastik dan karet dimasukkan ke dalam aspal panas pada suhu campuran sesuai parameter TAIT dan diaduk sampai homogen.

No.	Benda Uji	Jumlah	Keterangan
Kadar aspal optimum (KAO)			
1.		15 sampel	- Kadar aspal rencana 4,78%, 5,28%, 5,78%, 6,28%, dan 6,78% - Setiap kadar aspal rencana dibuat sebanyak 3 benda uji
Campuran aspal dengan penambahan LDPE dan karet			
3.		15 sampel	- Kadar aspal yang digunakan adalah Kadar Aspal Optimum 6,28% dengan variasi plastic + karet 2%, 4%, 6%, dan 8% dan 10 dari total berat aspal - Setiap variasi plastik + karet dibuat sebanyak 3 benda uji

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Material

Pengujian material dilaksanakan guna mengetahui apakah material yang akan digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi spesifikasi yang ada atau tidak. Apabila material sudah memenuhi spesifikasi fisik serta spesifikasi Laston Lapis Antara (AC-BC), maka bisa dilakukan tahap selanjutnya dalam alur metodologi. Namun, apabila tidak memenuhi, harus dilakukan pengecekan ulang, atau mengganti material yang dilakukan dalam penelitian ini berdasarkan acuan Standar Nasional Indonesia (SNI) atau *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO). Pengujian material meliputi sifat agregat, pengecekan uji aspal pen 60/70, serta pengecekan bahan *additive.*

4.1.1 Analisa Saringan Agregat

Analisa saringan agregat adalah penentuan presentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian dapat menentukan ukuran butiran/gradasi dari agregat. Pada penelitian ini digunakan 4 jenis agregat yaitu agregat ukuran 10-20mm, 10-10mm, 5-10mm, dan 0-5mm. Sedangkan pengujian analisa saringan dilakukan sebanyak 3 kali untuk mendapatkan hasil yang valid. Hasil dari uji analisa saringan terlampir sebagai berikut :

- **Agregat Kasar (CA) 10-20 mm**

Table 4.1 Analisa Saringan Agregat Kasar 10-20mm

Agregat 10/20						Berat Sampel :	3000	gr
Saringan		Berat Tertahan *(gram)*				Jumlah	Presentase	
No	mm	Perc. 1	Perc.2	Perc.3	Rata2	Tertahan	Tertahan	Lolos
1"	25.4	0	0	0	**0**	0	0	100
3/4"	19.1	1648	1226	1471	**1448.2**	1448.2	48.27	51.73
1/2"	12.5	1353	1764	1528	**1548.3**	2996.5	99.88	0.12
3/8"	9.5	0	0	0	**0**	2996.5	99.88	0.12
4	4.75	0	0	0	**0**	2996.5	99.88	0.12
8	2.36	0	0	0	**0**	2996.5	99.88	0.12
16	1.18	0	0	0	**0**	2996.5	99.88	0.12
30	0.60	0	0	0	**0**	2996.5	99.88	0.12
50	0.30	0	0	0	**0**	2996.5	99.88	0.12
100	0.15	0	0	0	**0**	2996.5	99.88	0.12
200	0.08	0	0	0	**0**	2996.5	99.88	0.12
PAN		0	0	-	**0**	2996.5	99.88	0.12
Jumlah		3001	2990	2998	**2996.5**			

- Berat agregat sebelum dilakukan penyaringan

  (W1) = 3000 Gram

- Berat agregat setelah dilakukan penyaringan

  (W2) = 2997 Gram

- Contoh perhitungan jumlah berat tertahan :

  Saringan $^{3}/_{4}$ = Jumlah berat tertahan saringan1"
  $+rata-rata\ berat\ tertahan\ saringan\ ^{3}/_{4}$
  = (0 + 1448) gram = 1448 gram

  Saringan $^{1}/_{2}$ = Jumlah berat tertahan saringan$^{3}/_{4}$
  + Rata rata berat tertahan saringan$^{1}/_{2}$
  = (1448 + 1548) gram
  = 2997 gram

- Contoh perhitungan jumlah % tertahan :

Saringan $^{3}/_{4}$ = $\frac{Jumlah\ berat\ tertahan}{\Sigma\ Jumlah\ berat\ tertahan} x100\%$

= $\frac{1448}{3000} x100\%$ = 48.27%

Saringan $^{1}/_{2}$ = $\frac{Jumlah\ berat\ tertahan}{\Sigma\ Jumlah\ berat\ tertahan} x100\%$

= $\frac{2997}{3000} x100\%$ = 99.88 %

- Contoh perhitungan jumlah % lolos :

Saringan $^{3}/_{4}$ = 100% - jumlah % tertahan saringan $^{3}/_{4}$

= 100 % - 48.27% = 51.73%

Saringan $^{1}/_{2}$ = 100% - jumlah % tertahan saringan $^{1}/_{2}$

= 100 % - 99.88% = 0.12%

- **Agregat Kasar (CA) 10-10 mm**

Table 4.2 Analisa Saringan Agregat Kasar 10-10mm

Agregat 10/10						Berat Sampel :	3000	gr
Saringan			Berat Tertahan (gram)				Jumlah	Persentase	
No		mm	Perc. 1	Perc.2	Perc.3	**Rata2**	Tertaha	Tertahan	Lolos
1"		25.4	0	0	0	**0**	0	0	100
3/4"		19.1	0	0	0	**0**	0	0.00	100
1/2"		12.5	681.9	647.2	696.4	**675.17**	675.17	22.51	77.49
3/8"		9.5	1438	1502	1403	**1447.9**	2123	70.77	29.23
4		4.75	878.8	848.1	899.7	**875.53**	2998.6	99.95	0.048
8		2.36	0	0	0	0	2998.6	99.95	0.048
16		1.18	0	0	0	0	2998.6	99.95	0.048
30		0.60	0	0	0	0	2998.6	99.95	0.048
50		0.30	0	0	0	0	2998.6	99.95	0.048
100		0.15	0	0	0	0	2998.6	99.95	0.048
200		0.08	0	0	0	0	2998.6	99.95	0.048
PAN			0	0	0	0	2998.6	99.95	0.048
Jumlah			2999	2997	2999	**2998.6**			

- Berat agregat sebelum dilakukan penyaringan

  (W1) = 3000 Gram

- Berat agregat setelah dilakukan penyaringan

  (W2) = 2998.6 Gram

- Contoh perhitungan jumlah berat tertahan :

  Saringan $^1/_2$ = Jumlah berat tertahan saringan $^3/_8$
  $+ rata - rata\ berat\ tertahan\ saringan\ {}^1/_2$

  = (0 + 675.17) gram = 675.17 gram

  Saringan $^3/_8$ = Jumlah berat tertahan saringan $^1/_2$
  + Rata rata berat tertahan saringan $^3/_8$

  = (675.17 + 1447.9) gram

  = 2123 gram

- Contoh perhitungan jumlah % tertahan :

  Saringan $^1/_2$ = $\frac{Jumlah\ berat\ tertahan}{\Sigma\ Jumlah\ berat\ tertahan} x100\%$

  = $\frac{675.17}{3000} x100\% = 22.51\ \%$

  Saringan no.4 = $\frac{Jumlah\ berat\ tertahan}{\Sigma\ Jumlah\ berat\ tertahan} x100\%$

  = $\frac{2123}{3000} x100\% = 70.77\ \%$

- Contoh perhitungan jumlah % lolos :

  Saringan $^3/_8$ = 100% - jumlah % tertahan saringan $^1/_2$

  = 100 % - 22.51% = 77.49%

  Saringan no.4 = 100% - jumlah % tertahan saringan $^3/_8$

  = 100 % - 70.77% = 29.23%

- **Agregat Medium (MA) 5-10 mm**

Table 4.3 Analisa Saringan Agregat Medium 5-10mm

Agregat 5/10						Berat Sampel :	3000	gr
Saringan			Berat Tertahan (gram)			Jumlah	Persentase	
No		mm	Perc. 1	Perc.2	Perc.3	**Rata2**	Tertahan	Tertahan	Lolos
1"		25.4	0	0	0	**0**	0	0	100
3/4"		19.1	0	0	0	**0**	0	0.00	100.0
1/2"		12.5	0	0	0	**0**	0	0	100
3/8"		9.5	0	0	0	**0**	0	0	100
4		4.75	1632	1750	1924	**1768.6**	1768.6	58.95	41.05
8		2.36	1366	1249	1074	**1229.6**	2998.2	99.94	0.06
16		1.18	0	0	0	**0**	2998.2	99.94	0.06
30		0.60	0	0	0	**0**	2998.2	99.94	0.06
50		0.30	0	0	0	**0**	2998.2	99.94	0.06
100		0.15	0	0	0	**0**	2998.2	99.94	0.06
200		0.08	0	0	0	**0**	2998.2	99.94	0.06
PAN			0	0	0	**0**	2998.2	99.94	0.06
Jumlah			2998	2999	2998	**2998**			

- Berat agregat sebelum dilakukan penyaringan

  (W1) = 3000 Gram

- Berat agregat setelah dilakukan penyaringan

  (W2) = 2998.6 Gram

- Contoh perhitungan jumlah berat tertahan :

  Saringan no.4 = Jumlah berat tertahan saringan $^3/_8$
  $+ rata - rata\ berat\ tertahan\ saringan$ no. 4

  = (0 + 1768.6) gram = 1768.6 gram

  Saringan no.8 = Jumlah berat tertahan saringan no.4
  + Rata rata berat tertahan saringan no.8

  = (1769 + 1229.6) gram

  = 2998.6 gram

- Contoh perhitungan jumlah % tertahan :

  Saringan no.4 = $\frac{Jumlah\ berat\ tertahan}{\Sigma\ Jumlah\ berat\ tertahan} x100\%$

  = $\frac{1769}{3000} x100\%$ = 58.95 %

  Saringan no.8 = $\frac{Jumlah\ berat\ tertahan}{\Sigma\ Jumlah\ berat\ tertahan} x100\%$

  = $\frac{2998.6}{3000} x100\%$= 99.94 %

- Contoh perhitungan jumlah % lolos :

  Saringan no. 4 = 100% - jumlah % tertahan saringan $^3/_8$

  = 100 % - 58.95% = 41.05%

  Saringan no.8 = 100% - jumlah % tertahan saringan no.4

  = 100 % - 99.04% = 0.06%

- **Agregat Halus (FA) 0-5 mm**

Table 4.4 Analisa Saringan Agregat Halus 0-5 mm

Agregat 0/5				Berat Sampel :		3000	gr	
Saringan		Berat Tertahan (gram)				Jumlah	Persentase	
No	mm	Perc. 1	Perc.2	Perc.3	Rata2	Tertahan	Tertahan	Lolos
1"	25.4	0	0	0	**0**	0	0	100
3/4"	19.1	0	0	0	**0**	0	0	100.00
1/2"	12.5	0	0	0	**0**	0	0	100.00
3/8"	9.5	0	0	0	**0**	0	0	100.00
4	4.75	16.8	15.3	8.2	**13.43**	13.43	0.45	99.55
8	2.36	527.5	517.8	439.6	**495**	508.4	16.95	83.05
16	1.18	935.9	955.7	971.1	**954.2**	1463	48.75	51.25
30	0.600	560.7	559.2	599.1	**573**	2036	67.85	32.15
50	0.300	420.8	400.4	514.4	**445.2**	2481	82.69	17.31
100	0.150	196.4	194.3	123	**171.2**	2652	88.40	11.60
200	0.08	102.4	100.1	56.2	**86.23**	2738	91.28	8.72
PAN		238.7	252.1	286.2	**259**	2997	99.91	0.09
Jumlah		2999.2	2995	2998	**2997**			

- Berat agregat sebelum dilakukan penyaringan

  (W1) = 3000 Gram

- Berat agregat setelah dilakukan penyaringan

  (W2) = 2997 Gram

- Contoh perhitungan jumlah berat tertahan :

  Saringan no.8 = Jumlah berat tertahan saringan no.4
  $+ rata - rata\ berat\ tertahan\ saringan$ no. 8

  = (13.4 + 495) gram = 508 gram

  Saringan no.16 = Jumlah berat tertahan saringan no.8
  + Rata rata berat tertahan saringan no.16

  = (508 + 954) gram

  = 1463 gram

- Contoh perhitungan jumlah % tertahan :

  Saringan no.8 = $\frac{Jumlah\ berat\ tertahan}{\Sigma\ Jumlah\ berat\ tertahan} x100\%$

  = $\frac{508}{3000} x100\% = 16.95\ \%$

  Saringan no.16 = $\frac{Jumlah\ berat\ tertahan}{\Sigma\ Jumlah\ berat\ tertahan} x100\%$

  = $\frac{1463}{3000} x100\% = 48.75\ \%$

- Contoh perhitungan jumlah % lolos :

  Saringan no. 8 = 100% - jumlah % tertahan saringan $^3/_8$

  = 100 % - 16.95% = 83.05%

  Saringan no.16 = 100% - jumlah % tertahan saringan no.4

  = 100 % - 48.75% = 51.25%

4.1.2 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai berat jenis curah, berat jenis permukaan jenuh, berat jenis semu dan penyerapan air agregat. Pada penelitian ini digunakan 4 jenis agregat yakni agregat ukuran 10-20 mm, 10-10 mm, 5-10 mm, dan 0-5 mm. Hasil dari uji berat jenis dan penyerapan air agregat terlampir sebagai berikut :

a) **Agregat Kasar (CA) 10-20 mm**

Table 4.5 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (10-20 mm)

Jenis Pengujian	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Rata-rata
Benda Uji di rendam selama (Hari)	3	3	3	**3**
Berat Benda Uji Kering Oven Tertahan Saringan No 4 (B_k)	3000 g	3000 g	3000 g	**3000 g**
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh (B_j)	3035 g	3068 g	3034 g	**3046 g**
Berat Benda Uji dalam Air (25^oC)(B_a)	1896 g	1892 g	1890 g	**1893 g**

Perhitungan Berat Jenis Curah

$$\text{Berat Jenis} = \frac{B_k}{B_j - B_a} = \frac{3000\ g}{3046\ g - 1893\ g} = \mathbf{2.602}$$

Perhitungan Berat Jenis Jenuh Permukaan (SSD)

$$\text{Berat Jenis} = \frac{B_j}{B_j - B_a} = \frac{3046\ g}{3046\ g - 1893\ g} = \mathbf{2.642}$$

Perhitungan Berat Jenis Semu

$$\text{Berat Jenis} = \frac{B_k}{B_k - B_a} = \frac{3000\ g}{3000\ g - 1893\ g} = \mathbf{2.709}$$

Perhitungan Penyerapan Agregat

$$\text{Penyerapan} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% = \frac{3046\ g - 3000\ g}{3000\ g} \times 100\ \%$$

$$= \mathbf{1.52222}$$

b) **Agregat Kasar (CA) 10-10 mm**

Table 4.6 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (10-10 mm)

Jenis Pengujian	Perc.1	Perc.2	Perc.3	Rata2
Benda Uji di rendam selama (Hari)	3	3	3	**3**
Berat Benda Uji Kering Oven Tertahan Saringan No 4 (B_k)	3000 g	3000 g	3000 g	**3000 g**
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh (B_j)	3025 g	3037 g	3061 g	**3041 g**
Berat Benda Uji dalam Air (25^{o}C)(B_a)	1901 g	1899 g	1900 g	**1900 g**

Perhitungan Berat Jenis Curah

$$\text{Berat Jenis} = \frac{B_k}{B_j - B_a} = \frac{3000\ g}{3041\ g - 1900\ g} = \mathbf{2.6293}$$

Perhitungan Berat Jenis Jenuh Permukaan (SSD

$$\text{Berat Jenis} = \frac{B_j}{B_j - B_a} = \frac{3041\ g}{3041\ g - 1900\ g} = \mathbf{2.6653}$$

Perhitungan Berat Jenis Semu

$$\text{Berat Jenis} = \frac{B_k}{B_k - B_a} = \frac{3000\ g}{3000\ g - 1900\ g} = \mathbf{2.7273}$$

Perhitungan Penyerapan Agregat

$$\text{Penyerapan} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% = \frac{3041\ g - 3000\ g}{3000\ g} \times 100\ \%$$

$$= \mathbf{1.366}$$

c) **Agregat Sedang (MA) 5-10 mm**

Table 4.7 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Medium (5-10 mm)

Jenis Pengujian	Perc.1	Perc.2	Perc.3	Rata2
Benda Uji di rendam selama (Hari)	3	3	3	**3**
Berat Benda Uji Kering Oven Tertahan Saringan No 4 (B_k)	2000 g	2000 g	2000 g	**2000 g**
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh (B_j)	2021 g	2028 g	2027 g	**2025 g**
Berat Benda Uji dalam Air (25^{o}C)(B_a)	1268 g	1266 g	1269 g	**1268 g**

Perhitungan Berat Jenis Curah

$$\text{Berat Jenis} = \frac{B_k}{B_j - B_a} = \frac{2000\ g}{2025\ g - 1268\ g} = \mathbf{2.64}$$

Perhitungan Berat Jenis Jenuh Permukaan (SSD

$$\text{Berat Jenis} = \frac{B_j}{B_j - B_a} = \frac{2025\ g}{2025\ g - 1268\ g} = \mathbf{2.673}$$

Perhitungan Berat Jenis Semu

$$\text{Berat Jenis} = \frac{B_k}{B_k - B_a} = \frac{2000\ g}{2000\ g - 1268\ g} = \mathbf{2.731}$$

Perhitungan Penyerapan Agregat

$$\text{Penyerapan} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% = \frac{2025\ g - 2000\ g}{2000\ g} \times 100\ \%$$

$$= \mathbf{1.267\ \%}$$

d) Agregat Halus (FA) 0-5 mm

Table 4.8 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (0-5 mm)

Pengujian		Perc.1	Perc.2	Rata2
Benda Uji di Rendam Air Selama	(Hari)	3	3	3
Benda Uji Kering Permukaan Jenuh	(SSD)	487 g	486 g	487 g
Berat Piknometer diisi Air (25^{o}C)	(B)	656 g	656 g	656 g
Berat Piknometer+ Agg SSD + Air (25^{o}C)	(B_t)	960 g	959 g	960 g
Benda Uji Kering Oven	(B_k)	481 g	481 g	481 g

Perhitungan Berat Jenis Curah

$$\text{Berat Jenis} = \frac{B_k}{B + SSD - B_t} = \frac{481\ g}{656\ gr + 487\ g - 960\ g}$$

$$= \mathbf{2.6284}$$

Perhitungan Berat Jenis Jenuh Permukaan (SSD)

$$\text{Berat Jenis} = \frac{SSD}{B + SSD - B_t} = \frac{487\ g}{656\ gr + 487\ g - 960\ g}$$

$$= \mathbf{2.6585}$$

Perhitungan Berat Jenis Semu

$$\text{Berat Jenis} = \frac{B_k}{B + B_k - B_t} = \frac{481\ g}{656\ gr + 481\ g - 960\ g}$$

$$= \mathbf{2.7099}$$

Perhitungan Penyerapan Agregat

$$\text{Penyerapa} = \frac{(SSD - B_{k)}}{B_k} x\ 100\% = \frac{487\ g - 481\ g}{481\ g} x\ 100\ \%$$

$$= \mathbf{1.1435}$$

4.1.3 Hasil Pengujian Aspal

Hasil pengujian aspal yang digunakan untuk campuran pada penelitian ini yaitu aspal penetrasi 60/70, didapatkan hasil sebagai berikut :

Table 4.9 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

No	Pengujian	Metode	Syarat		Hasil	Keterangan
			Min	Max		
1	Penetrasi	SNI 06-2456-1991	60	79	72.3	Memenuhi
2	Berat Jenis	SNI 06-2432-1991	1	-	1.03	Memenuhi
3	Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	48	58	53.8	Memenuhi
4	Titik Nyala	SNI 06-2434-1991	200	-	240	Memenuhi
5	Daktilitas	SNI 06-2434-1991	100	-	141	Memenuhi
6	Kehilangan Berat	SNI 06-2440-1991	-	0.8	0.01	Memenuhi

4.1.4 Hasil Pengujian Fisik Agregat

Berikut Hasil Pengujian Agregat baik agregat kasar maupun agregat halus :

Table 4.10 Hasil Pengujian Fisik Agregat

No	Pengujian	Metode	Batas	Hasil	ket
Agregat Kasar 10-20					
1	Berat Jenis Curah	SNI 03-1970-2008	≥ 2,5	2.60	OK
2	Berat Jenis SSD	SNI 03-1970-2008	≥ 2,5	2.6415	OK
3	Berat Jenis Semu	SNI 03-1970-2008	≥ 2,5	2.7092	OK
4	Penyerapan Air	SNI 03-1969-2008	≤ 3%	1.522	OK
Agregat Kasar 10-10					
1	Berat Jenis Curah	SNI 03-1970-2008	≥ 2,5	2.63	OK
2	Berat Jenis SSD	SNI 03-1970-2008	≥ 2,5	2.6653	OK
3	Berat Jenis Semu	SNI 03-1970-2008	≥ 2,5	2.7273	OK
4	Penyerapan Air	SNI 03-1969-2008	≤ 3%	1.366	OK
Agregat Medium 5-10					
1	Berat Jenis Curah	SNI 03-1970-2008	≥ 2,5	2.64	OK
2	Berat Jenis SSD	SNI 03-1970-2008	≥ 2,5	2.67	OK
3	Berat Jenis Semu	SNI 03-1970-2008	≥ 2,5	2.731	OK
4	Penyerapan Air	SNI 03-1969-2008	≤ 3%	1.267	OK
Agregat Halus 0-5					
1	Berat Jenis Curah	SNI 03-1970-2008	≥ 2,5	2.63	OK
2	Berat Jenis SSD	SNI 03-1970-2008	≥ 2,5	2.66	OK
3	Berat Jenis Semu	SNI 03-1970-2008	≥ 2,5	2.759	OK
4	Penyerapan Air	SNI 03-1969-2008	≤ 3%	1.144	OK

4.2 Perencanaan Proporsi Agregat Gabungan

Perencanaan campuran dimulai dari kadar aspal efektif yang telah ditetapkan dalam spesifikasi. Dimana spesifikasi yang dipakai dalam penelitian ini adalah Laston Lapis Antara atau biasa disebut dengan AC-BC. Digunakan cara *trial & error* untuk membuat proporsinya lebih valid. Berikut cara dan tahapan penggabungan gradasi dengan cara analitis :

Table 4.11 Persentase Penggabungan Agregat (Combined Aggregate)

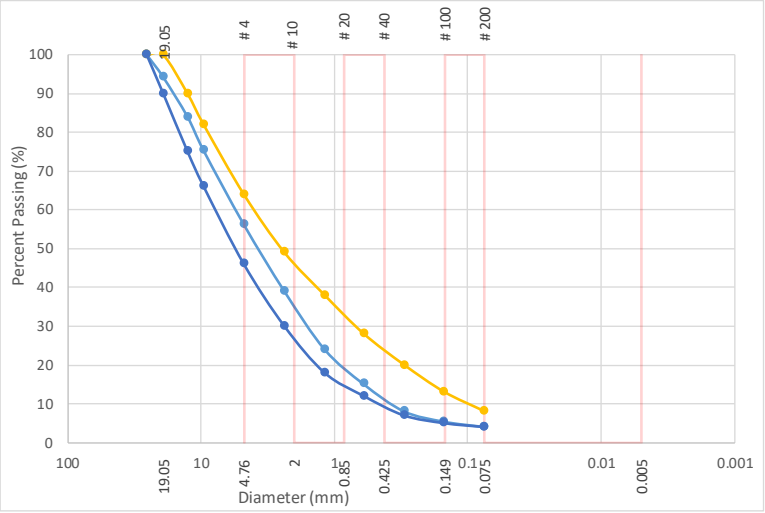
Saringan		**Ag.10/20**	**Ag.10/10**	**Ag.5/10**	**Ag.0/5**	**Filler**	**Spesifikasi AC-BC**		
No	**mm**	**Lolos %**	**Lolos %**	**Lolos %**	**Lolos %**	**Lolos %**	**BB**	**-**	**BA**
1"	**25.4**	100	100	100	100	100	100	-	100
3/4"	**19.1**	51.73	100	100	100	100	90	-	100
1/2"	**12.54**	0.12	77.5	100	100	100	75	-	90
3/8"	**9.5**	0.00	29.2	100	100	100	66	-	82
4	**4.75**	0	0.0	41.0	99.6	100	46	-	64
8	**2.36**	0	0	0.1	83.1	100	30	-	49
16	**1.18**	0	0	0	51.2	100	18	-	38
30	**0.600**	0	0	0	32.1	100	12	-	28
50	**0.300**	0	0	0	17.3	100	7	-	20
100	**0.150**	0	0	0	11.6	100	5	-	13
200	**0.075**	0	0	0	8.7	100	4	-	8

Setelah mendapatkan tabel rekapitulasi analisa saringan kita secara trial & error menentukan presentase 3 fraksi tersebut. Didapatkan fraksi dari penulis sebagai berikut :

Table 4.12 Blending Aggregate

Blending Agregat												
Saringan		Agr. 10/20	Agr. 10/10	Agr. 5/10	Agr. 0/5	Filler	Total	Spesifikasi AC-BC			Control Spesifikasi	Control Persen
No	mm	12 %	18 %	23 %	47 %	0%		BB	-	BA		
1"	25.4	12	18	23	47	0	100	100	-	100	OK	100 %
3/4"	19.1	6.21	18.00	23.00	47.00	0.00	94.21	90	-	100	OK	
1/2"	12.54	0.01	13.95	23.00	47.00	0.00	83.96	75	-	90	OK	
3/8"	9.5	0.00	5.26	23.00	47.00	0.00	75.26	66	-	82	OK	
4	4.75	0.00	0.01	9.44	46.79	0.00	56.24	46	-	64	OK	
8	2.36	0.00	0.00	0.01	39.04	0.00	39.05	30	-	49	OK	
16	1.18	0.00	0.00	0.00	24.09	0.00	24.09	18	-	38	OK	
30	0.60	0.00	0.00	0.00	15.11	0.00	15.11	12	-	28	OK	
50	0.30	0.00	0.00	0.00	8.13	0.00	8.13	7	-	20	OK	
100	0.15	0.00	0.00	0.00	5.45	0.00	5.45	5	-	13	OK	
200	0.075	0.00	0.00	0.00	4.10	0.00	4.10	4	-	8	OK	

Untuk presentase nilai yang diperoleh dari perhitungan grafis sesuai dengan sepesifikasi yang diatur pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 mengenai batas agregat campuran AC-BC. Berikut tabel dan perhitungan mengenai presentase penggabungan agregat *(combined aggregate):*



Gambar. 4.1 Grafik Blending Agregat

4.3 Perencanaan Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji campuran dilakukan setelah semua material telah memenuhi spesifikasi baik spesifikasi fisik maupun spesifikasi laston lapis antara (AC-BC). Pembuatan benda uji tahap ini masih tanpa penggunaan *additive*, karea bertujuan untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO). Poin poin yang perlu diperhatikan diantaranya jumlah benda uji, kadar aspal rencana, agregat yang digunakan, temperature dan compactor benda uji.

4.3.1 Penentuan Kadar Aspal Rencana (KAO)

Dalam merencanakan campuran aspal, harus dilakukan perhitungan perkiraan awal kadar aspal optimum (Pb) sebagai berikut :

Pb = 0,035 (%CA) + 0,045 (%FA) + 0,18 (% FF) + Konstanta

Dimana ,

Pb : Kadar aspal tengah atau ideal, (% terhadap berat campuran)

CA : % agregat tertahan saringan No.8

FA : % agregat lolos saringan No.8 dan tertahan saringan No.200

FF : (*filler*), % agregat minimal 75% lolos No.200

K : Nilai konstanta (untuk nilai konstanta digunakan 0,5 – 1 untuk Laston)

4.3.1.1 Fraksi Desain Butiran Agregat

Penentuan fraksi butiran agregat sebagai acuan rencana kebutuhan agregat itu sendiri. Berikut contoh perhitungan fraksi desain butir agregat :

a. Variasi Komposisi Agregat Gabungan (no.8)

$$\Sigma \left(\%\ lolos\ ayakan\ no.8\ x \frac{\%CA}{100} \right)$$

$$\sum \left(\text{Persen Lolos Ayakan no 8} \times \frac{\%CA}{100} \right)$$

$$\text{Agregat 5-10} = \left(\%\ \text{Lolos Ayakan no 8} \times \frac{\%CA}{100} \right) = \mathbf{0.014}$$

$$\text{Agregat 0-5} = \left(\%\ \text{Lolos Ayakan no 8} \times \frac{\%CA}{100} \right) = \mathbf{39.035}$$

FA = 0.014 + 39.035

= **39.049** %

b. Variasi Komposisi Agregat no.8 & tertahan no.200

$$\Sigma \left(\%\ lolos\ ayakan\ no.8\ x \frac{\%CA}{100} \right)$$

Agregat 0-5 = **(** Persen Lolos Ayakan no 200 x $\frac{\%CA}{100}$ **)**

= **4.100** %

maka FF = 4.100 %

Nilai Fraksi Butiran Didapat :

CA = 100 - FA

= 100 - 39.049

= **60.951** %

FA = 39.049 - FF

= 39.049 - 4.100

= **34.949** %

FF = **4.100** %

Total = 60.951 + 34.949 + 4.100

= **100** %

Perkiraan Aspal Terpakai Secara Gradasi

Pb = ***0.035*** ***(%CA)*** + ***0.045*** ***(%FA)*** + ***0.18*** ***(%FF)*** + ***k***

= *0.035* 60.951 + *0.045* 34.95 + *0.18* 4.100 + 0.78

= ***5.22*** %

4.3.1.2 Fraksi Desain Butiran Campuran

CA = %CA x **(** $\frac{100 - Pb}{100}$ **)**

= 60.951 x **(** $\frac{100 - 5.22}{100}$ **)**

= **57.77** %

$$FA = \%FA \times \left(\frac{100 - Pb}{100} \right)$$

$$= 34.949 \times \left(\frac{100 - 5.22}{100} \right)$$

$$= \mathbf{33.13} \ \%$$

$$FF = \%FF \times \left(\frac{100 - Pb}{100} \right)$$

$$= 4.100 \times \left(\frac{100 - 5.22}{100} \right)$$

$$= \mathbf{3.89} \ \%$$

Total = **CA** + **FA** + **FF**

= **57.77** + **33.13** + **3.89**

= **94.78** %

Maka Nilai Fraksi desain Butiran campuran didapat sebesar

Total = 94.78 + 5.22

= **100 %**

4.3.1.3 Penyerapan Agregat Terhadap Aspal

Agregat 10-20 = 0.12 x Penyerapan agg. 10-20

= 0.12 x 1.5222 = **0.18267**

Agregat 10-10 = 0.18 x Penyerapan agg. 10-10

= 0.18 x 1.3656 = **0.2458**

Agregat 5-10 = 0.23 x Penyerapan agg. 5-10

= 0.23 x 1.2667 = **0.29133**

Agregat 0-5 = 0.47 x Penyerapan agg. 0-5

= 0.47 x 1.1435 = **0.53745**

Rekapitulasi perkiraan penyerapan agregat :

Agregat 10 – 20 = 0.183
Agregat 10 – 10 = 0.246
Agregat 5 – 10 = 0.291
Agregat 0 – 5 = 0.537
Jumlah = **1.257**

Maka, nilai penyerapan aspal didapat sebesar :
Penyerapan aspal = Kons x 1.2572
= 0,45 x 1.2572 = 0.56576
Kadar Aspal = 0.56576 + 5.22
= **5.78**

Nilai variasi pengujian kadar aspal yaitu :

4.78	5.28	5.78	6.28	6.78
Pb-1	Pb-0.5	Pb	Pb+0.5	Pb+1

4.3.2 Variasi Nilai Kadar Aspal Rencana

Untuk menentukan kadar aspal yang akan dijadikan sebagai rencana dasar, terlebih dahulu dilakukan perhitungan mengenai besaran proporsi untuk masing masing material bahan uji sampel aspal. Contohnya seperti berat aspal dan jenis agregat dengan total berat 1200 gram untuk tiap sampel, berikut tabel proporsi dan contoh perhitungan campuran bahan :

a. Perhitungan Berat Kadar Aspal

$$\text{Berat Kadar Aspal} = \frac{\%\text{Kadar Aspal Rencana}}{100\%} \text{ x Berat Sampel}$$

$$= \frac{6.28\%}{100\%} \text{ x } 1200 = 75.4 \text{ gram}$$

Berat Agg. 10-20 $= \frac{\%\text{Agregat}}{100\%} \text{x} \ \sum\text{Agregat}$

$= \frac{12\%}{100\%} \text{x} \ \ 1124.6$

$= \ 134.952$ gram

Berat Agg. 10-10 $= \frac{\%\text{Agregat}}{100\%} \text{x} \ \sum\text{Agregat}$

$= \frac{18\%}{100\%} \text{x} \ \ 1124.6$

$= 202.428$ gram

Berat Agg. 5-10 $= \frac{\%\text{Agregat}}{100\%} \text{x} \ \sum\text{Agregat}$

$= \frac{23\ \%}{100\%} \text{x} \ \ 1124.6 = 258.658$ gram

Berat Agg. 0-5 $= \frac{\%\text{Kadar Aspal Rencana}}{100\%} \text{x}$ Berat Sampel

$= \frac{47\%}{100\%} \text{x} \ 1124.6 = 528{,}562$ gram

Table 4.13 Proporsi Campuran Kadar Aspal Rencana 4,78%

Variasi 1			
Kadar Aspal Rencana			4.78 %
Berat Sampel			1200 gram
Berat Kadar Aspal			57 gram
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	12 %	137 gram
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	18 %	206 gram
Berat Agg. Med. (5-10)mm	:	23 %	263 gram
Berat Agg. Halus (0-5)mm	:	47 %	537 gram
Filler	:	0%	0 gram
Total			1200 gram

Table 4.14 Proporsi Campuran Kadar Aspal Rencana 5,28%

Variasi 2			
Kadar Aspal Rencana			5.28 %
Berat Sampel			1200 gram
Berat Kadar Aspal			63 gram
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	12 %	136 gram
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	18 %	205 gram
Berat Agg.Med. (5-10)mm	:	23 %	261 gram
Berat Agg. Halus (0-5)mm	:	47 %	534 gram
Filler	:	0 %	0 gram
Total			1200 gram

Table 4.15 Proporsi Campuran Kadar Aspal Rencana 5,78%

Variasi 3			
Kadar Aspal Rencana			5.78 %
Berat Sampel			1200 gram
Berat Kadar Aspal			69 gram
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	12 %	136 gram
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	18 %	204 gram
Berat Agg. Med. (5-10)mm	:	23 %	260 gram
Berat Agg. Halus (0-5)mm	:	47 %	531 gram
Filler	:	0 %	0 gram
Total			1200 gram

Table 4.16 Proporsi Campuran Kadar Aspal Rencana 6,28%

Variasi 4			
Kadar Aspal Rencana			6.28 %
Berat Sampel			1200 gram
Berat Kadar Aspal			75 gram
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	12 %	135 gram
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	18 %	202 gram
Berat Agg. Med. (5-10)mm	:	23 %	259 gram
Berat Agg. Halus (0-5)mm	:	47 %	529 gram
Filler	:	0 %	0 gram
Total			1200 gram

Table 4.17 Proporsi Campuran Kadar Aspal Rencana 6,78%

Variasi 5			
Kadar Aspal Rencana			6.78 %
Berat Sampel			1200 gram
Berat Kadar Aspal			81 gram
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	12 %	134 gram
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	18 %	201 gram
Berat Agg. Med. (5-10)mm	:	23 %	257 gram
Berat Agg. Halus (0-5)mm	:	47 %	526 gram
Filler	:	0 %	0 gram
Total			1200 gram

4.4 Pengujian *Marshall* Kadar Aspal Rencana

Untuk mengetahui hasil dari nilai kadar aspal optimum yang direncanakan, maka perlu dilakukan tes *marshall* berdasarkan parameter yang telah ditentukan masing-masing benda uji. Nantinya, dari pengujian *marshall* tersebut didapatkan nilai nilai parameter dari setiap presentase kadar aspal rencana tersebut. Dari sini kita dapat mengetahui apakah nilai kadar aspal rencana tersebut merupakan kadar rencana aspal optimum atau tidak.

Pada penelitian ini sampel benda uji dibuat sebanyak 3 buah untuk masing masing kadar aspal rencana. Dari 15 benda uji, 2 benda uji dengan kadar aspal rencana 6.28 % tidak dimasukkan grafik karena nilai *flow* nya terlampau tinggi dikarenakan alat uji marshall terjadi kerusakan dan diganti dengan benda uji yang baru. Lalu untuk 1 benda uji kadar aspal rencana 4.78 % dan 1 benda uji dengan kadar aspal rencana 6.78 % diganti dengan benda uji baru masing-masing 1 benda uji untuk memperbaiki nilai rataan dan menyesuaikan spesifikasi atau parameter dari aspal itu sendiri.

4.4.1 Density

Nilai *density* adalah nilai berat volume untuk menunjukkan kepadatan dari campuran aspal, factor yang mempengaruhinya berupa *temperature*, campuran *filler*, energi pemadat serta kadar aspal. Sesuai perhitungan berat kering, berat jenuh dan berat benda uji dalam air, maka didapatkan nilai *density* sebagai berikut :

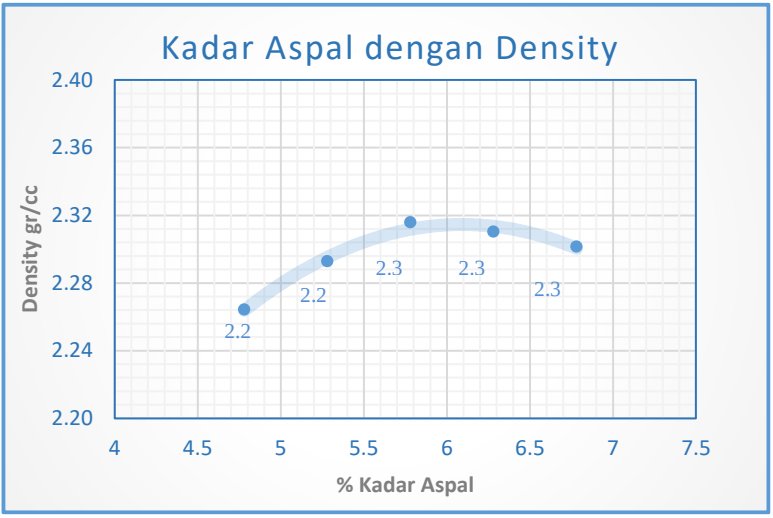
Table 4.18 Nilai Density tanpa Penambahan LDPE dan Limbah Karet

No	Kode Aspal	Berat Kering	Berat dalam Air	Berat SSD	Berat jenis Campuran
		gr	gr	gr	
Kadar Aspal Rencana = 4.78%					
1	AKK1	1190.1	684.7	1212.1	2.26
2	AKK2	1186.9	678.9	1206.4	2.25
3	AKK3	1187.2	684.2	1203.5	2.29
Rata Rata		1188.07	682.6	1207.33	2.26
Kadar Aspal Rencana = 5.28%					
1	AKK1	1194.3	689.2	**1208**	2.30
2	AKK2	1194.1	686.3	1207.6	2.29
3	AKK3	1186.4	680	1199	2.29
Rata Rata		1191.60	685.17	1204.87	2.29
Kadar Aspal Rencana = 5.78%					
1	AKK1	1178.9	682.6	1189	2.33
2	AKK2	1182.6	684.3	1196	2.31
3	AKK3	1187	686.8	1201	2.31
Rata Rata		1182.83	684.57	1195.33	2.32
Kadar Aspal Rencana = 6.28%					
1	AKK1	1189.5	686.3	1200.7	2.31
2	AKK2	1182.2	680.9	1191	2.32
3	AKK3	1183.4	681.9	1196.2	2.30
Rata Rata		1185.03	683.03	1195.97	2.31
Kadar Aspal Rencana = 6.78%					
1	AKK1	1174.5	675.7	1186.6	2.30
2	AKK2	1183.7	682.9	1191	2.33
3	AKK3	1178.7	678.1	1196	2.28
Rata Rata		1178.9667	678.9	1191.2	2.30

Contoh perhitungan density :

- Density = $\frac{Berat\ kering}{Berat\ SSD - Berat\ dalam\ air}$

$$= \frac{1178.9}{1189-682.6} = 2{,}33\text{gr/cc}$$



Gambar. 4.2 Grafik Density Konvensional

Dari grafik gambar 4.2 diatas dapat dilihat bahwasanya nilai tertinggi dari kadar aspal rencana tidak menyebabkan nilai *density* nya tinggi pula. Menurut Roberts, jika nilai kadar aspal naik maka *density* ikut naik sampai mencapai puncak kemudian akan turun. Jadi, seiring bertambahnya kadar aspal rencana, maka semakin tinggi pula nilai *density* nya, hanya saja nilai kadar aspal rencana 5.78 % adalah puncak dari data yang penulis dapatkan kemudian nilai density pada kadar aspal rencana 6.28 % dan 6.78 % mengalami penurunan. Nilai tertinggi nya di 5.78% dengan nilai 2.32 gr/cc sedangkan nilai terendahnya terdapat pada kadar aspal rencana 4.78% yakni 2.26%.

4.4.2 Void In Mix (VIM)

Dari pengujian marshall terhadap benda uji kadar aspal rencana, berikut analisa dari VIM pada campuran kadar aspal rencana beserta tabel nya:

Table 4.19 Nilai Void in Mix (VIM) Konvensional

Nomor benda uji	Variasi kadar aspal	BJ maksimum Teoritis	Density	Syarat	VIM
	(%)	(gr/cm^3)	(gr/cm^3)	(gr/cm^3)	(%)
1	4.78	2.48	2.26	3-5	9.073
2	4.78	2.48	2.25	3-5	9.335
3	4.78	2.48	2.29	3-5	7.880
Rata-rata			**2.26**		**8.762**
1	5.28	2.46	2.30	3-5	6.555
2	5.28	2.46	2.29	3-5	7.019
3	5.28	2.46	2.29	3-5	7.209
Rata-rata			**2.29**		**6.928**
1	5.78	2.45	2.33	3-5	4.809
2	5.78	2.45	2.31	3-5	5.500
3	5.78	2.45	2.31	3-5	5.609
Rata-rata			**2.32**		**5.036**
1	6.28	2.43	2.31	3-5	4.760
2	6.28	2.43	2.32	3-5	4.546
3	6.28	2.43	2.30	3-5	5.230
Rata-rata			**2.31**		**4.845**
1	6.78	2.41	2.30	3-5	4.633
2	6.78	2.41	2.33	3-5	3.357
3	6.78	2.41	2.28	3-5	5.586
Rata-rata			**2.30**		**4.525**

Void in mix merupakan volume total udara yang berada diantara partikel agregat dan aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan, dinyatakan dalam persen volume bulk suatu campuran.

Agregat	Bj.Bulk (γ Ov)	Bj.Semu (γ App)	% Berat Total Agregat
10-20 mm	2.60	2.709	12
10-10 mm	2.63	2.727	18
5 - 10 mm	2.64	2.731	23
0 - 5 mm	2.63	2.709	47

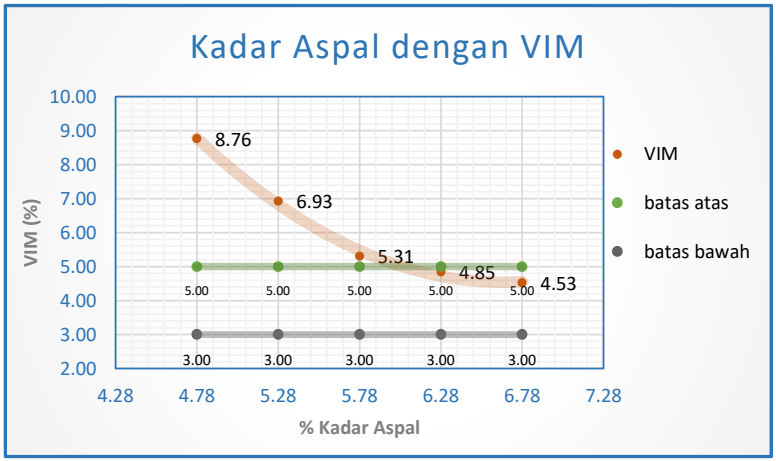
- BJ Bulk dari total agregat
  = (γOv x a) + (γOv x b) + (γOv x c)
  = (2,60 x 12%) + (2,63 x 18%) + (2,64 x 23%) + (2.63 x 47%)
  = 2.628 gr/cm³

- BJ Efektif dari total agregat
  $= \frac{\text{BJ Bulk} + ((\gamma\text{App x a}) + (\gamma\text{App x b}) + (\gamma\text{App x c}))}{2}$
  $= \frac{2{,}628 + ((2{,}709 \text{x} 12\%) + (2{,}727 \text{x} 18\%) + (2{,}731 \text{x} 23\%) + (2{,}709 \text{x} 47\%))}{2}$
  = 2,67 gr/cm³

- BJ Maksimum Teoritis (gmm)
  $= \frac{100}{\frac{(100 - \%aspal)}{Bj.Agr} + \left(\frac{\%aspal}{Bj.Asp}\right)}$
  $= \frac{100}{\frac{(100 - 4.78)}{2{,}67} + \left(\frac{4.78}{1{,}03}\right)}$
  = 2,48 gr/cm³
- *Void in Mix (VIM)*

$$= 100\ x\ \frac{BJ\ maksimum\ teoritis - BJ\ Bulk\ Camp}{BJ\ Maksimum\ teoritis}$$

$$= 100\ x\ \frac{2{,}41 - 2{,}33}{2{,}41} = 3.356\ \%$$



Gambar. 4.3 Grafik Void in Mix (konvensional)

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa rata-rata hasil VIM yang didapat pada masing masing benda uji kadar aspal rencana mengalami penurunan seiring dengan kenaikan kadar aspal rencana. Menurut Purnamasari P.E, dan Suryaman F, hasil yang didapat berdasarkan penelitian yang dilakukan bahwa, semakin naik kadar aspal maka nilai *Void in Mix* akan semakin menurun karena rongga antar agregat akan semakin terisi oleh aspal.

Hal ini sesuai dengan benda uji kadar aspal rencana karena data yang tersaji semakin tinggi kadar aspal rencana maka nilai VIM akan semakin turun. Hanya kadar aspal rencana dengan presentase 6.28% dan 6.78% yang memenuhi spesifikasi dari VIM

laston lapis antara (AC-BC). Nilai VIM terendah yaitu pada kadar aspal rencana 6,78% dengan nilai VIM 4.53%.

4.4.3 *Void in Mineral aggregate (VMA)*

Void in mineral aggregate pada benda uji kadar aspal rencana dilampirkan pada tabel dibawah ini :

Table 4.20 Nilai Void in Mineral Aggregate (VMA)

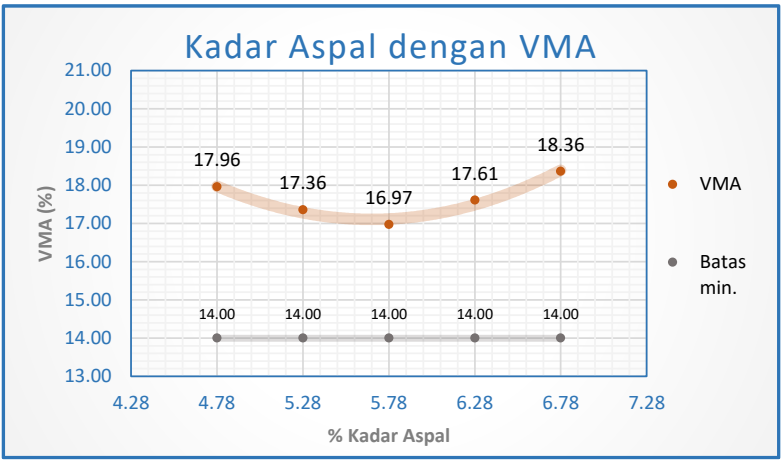
Nomor benda uji	Variasi kadar aspal	*BJ. Bulk Aggregate*	*Density*	Syarat	VMA
	(%)	(gr/cm^3)	(%)	(gr/cm^3)	(%)
1	4.78	2.63	2.26		18.237
2	4.78	2.63	2.25		18.473
3	4.78	2.63	2.29		17.164
Rata-rata			2.26	>14	17.958
1	5.28	2.63	2.30		17.027
2	5.28	2.63	2.29		17.439
3	5.28	2.63	2.29		17.607
Rata-rata			2.29	>14	17.358
1	5.78	2.63	2.33		16.534
2	5.78	2.63	2.31		17.139
3	5.78	2.63	2.31		17.235
Rata-rata			2.32	>14	16.970
1	6.28	2.63	2.31		17.533
2	6.28	2.63	2.32		17.349
3	6.28	2.63	2.30		17.940
Rata-rata			2.31	>14	17.607
1	6.78	2.63	2.30		18.453
2	6.78	2.63	2.33		17.361
3	6.78	2.63	2.28		19.267
Rata-rata			2.30	>14	18.360

Contoh Perhitungan Kadar aspal 4.78% :

$$VMA = 100 - \left(\frac{(100 - \%Kadar\ Aspal)\ x\ Density}{BJ\ bulk\ Agg.}\right)$$

$$VMA = 100 - \left(\frac{(100 - 4.78\ )x\ 2.26}{2.63}\right) = 18.23\ \%$$

VMA atau *Void in mineral aggregate* adalah rongga yang ada diantara mineral agregat suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan.



Gambar. 4.4 Grafik Void in Mineral Aggregate Konvensional

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa nilai VMA tertinggi terdapat pada benda uji dengan kadar aspal rencana 6.78 % dengan nilai 18.36%. Sedangkan nilai terendahnya terdapat pada benda uji dengan kadar aspal rencana 5,78% dengan nilai 16,97%. Nilai VMA cenderung meningkat seiring bertambahnya nilai kadar

aspal rencana, dan seluruh variasi dengan 5 macam kadar aspal rencana memenuhi spesifikasi umum binamarga 2018.

4.4.4 *Void Filled Asphalt (VFA)*

Menurut Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah Tahun 2004, VFA adalah bagian dari rongga yang berada diantara mineral agregat (VMA)

Table 4.21 Nilai Void Filled Asphalt (VFA)

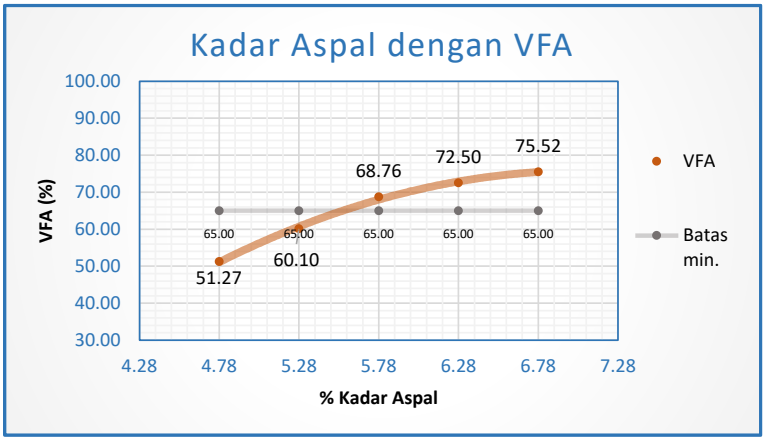
No.	Kode Aspal	Density (gr/cc)	VMA (gr/cc)	VIM (%)	VFA (%)	Syarat
Kadar Aspal 4.78 %						
1	AKK 1	2.26	18.24	9.07	50.25	>65
2	AKK 2	2.25	18.47	9.33	49.47	
3	AKK 3	2.29	17.16	7.88	54.09	
Rata-rata		**2.26**	**17.96**	**8.76**	**51.27**	
Kadar Aspal 5.28 %						
1	AKK 1	2.30	17.03	6.56	61.50	>65
2	AKK 2	2.29	17.44	7.02	59.75	
3	AKK 3	2.29	17.61	7.21	59.06	
Rata-rata		**2.29**	**17.36**	**6.93**	**60.10**	
Kadar Aspal 5.78 %						
1	AKK 1	2.33	16.53	4.81	70.91	>65
2	AKK 2	2.31	17.14	5.50	67.91	
3	AKK 3	2.31	17.24	5.61	67.46	
Rata-rata		**2.32**	**16.97**	**5.31**	**68.76**	
Kadar Aspal 6.28 %						
1	AKK 1	2.31	17.53	4.76	72.85	>65
2	AKK 2	2.32	17.35	4.55	73.79	
3	AKK 3	2.30	17.94	5.23	70.85	
Rata-rata		**2.31**	**17.61**	**4.85**	**72.50**	
Kadar Aspal 6.78 %						
1	AKK 1	2.30	18.45	4.63	74.89	>65
2	AKK 2	2.33	17.36	3.36	80.67	
3	AKK 3	2.28	19.27	5.59	71.01	
Rata-rata		**2.30**	**18.36**	**4.53**	**75.52**	

yang terisi oleh aspal efektif,dinyatakan dalam persen. Dari pengujian marshall, didapatkan nilai *VFA* sebagai berikut :

Contoh perhitungan *VFA* dengan kadar aspal rencana 4.78%

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

$$VFA = 100\ x \left(\frac{17.96-8.76}{17.96}\right) = 51.22\ \%$$



Gambar. 4.5 Grafik Void Filled Asphalt Konvensional

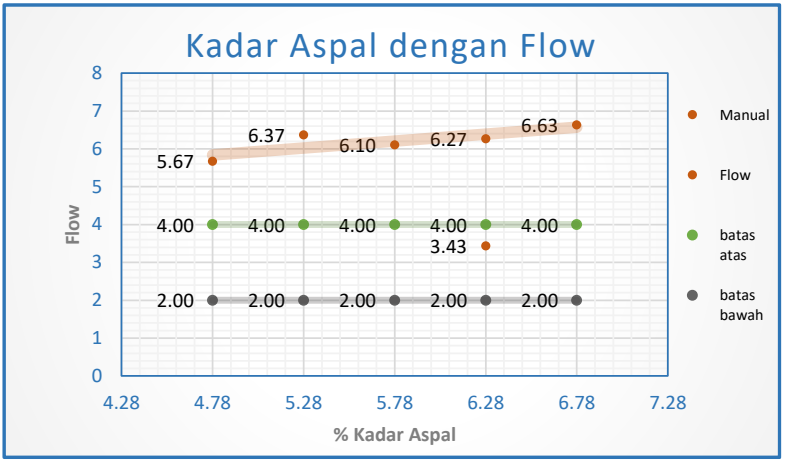
Dari grafik diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin tinggi kadar aspal, maka semakin tinggi pula nilai presentase dari rongga yang terisi aspal. Benda uji dengan kadar aspal rencana 6,78% merupakan nilai rata-rata tertinggi yakni sebesar 75,52%. Menurut Purnamasari P.E bahwa seiring penambahan kadar aspal, nilai VFA juga semakin meningkat. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, pola regresi nilai rata-rata VFA mengalami kenaikan seiring penambahan kadar aspal.

4.4.5 *Flow*

Flow merupakan besarnya perubahan bentuk plastis suatu benda uji campuran beraspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas maksimum keruntuhan, dan dinyatakan dalam satuan Panjang (mm). Dalam pengujian benda uji kadar aspal rencana yang telah ditentukan, dilampirkan hasil uji marshall terhadap nilai *flow* sebagai berikut:

Table 4.22 Nilai Flow

No	Variasi kadar aspal	*Bacaan*	*Konversi*	*Flow*	*Syarat*
	(%)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	4.78	710.00	0,01	7.10	2,0-4,0
2	4.78	560.00	0,01	5.60	
3	4.78	430.00	0,01	4.30	
Rata-rata				5.67	
1	5.28	610.00	0,01	6.10	2,0-4,0
2	5.28	600.00	0,01	6.00	
3	5.28	770.00	0,01	7.70	
Rata-rata				6.60	
1	5.78	660.00	0,01	6.60	2,0-4,0
2	5.78	620.00	0,01	6.20	
3	5.78	550.00	0,01	5.50	
Rata-rata				6.10	
1	6.28	590.00	0,01	5.90	2,0-4,0
2	6.28	620.00	0,01	6.20	
3	6.28	670.00	0,01	6.70	
Rata-rata				6.27	
1	6.78	520.00	0,01	5.20	2,0-4,0
2	6.78	630.00	0,01	6.30	
3	6.78	840.00	0,01	8.40	
Rata-rata				6.63	



Gambar. 4.6 Grafik Flow Konvensional

Dari grafik bisa kita lihat semakin tinggi kadar aspal rencana, maka semakin tinggi pula nilai *flow*. Namun, ada sedikit kendala pada uji marshall terhadap nilai *flow*, dimana seluruh nilai *flow* dari benda uji kadar aspal rencana yang telah diuji tidak ada yang memenuhi spesifikasi. Hal ini dikarenakan *system*/pemograman dari alat uji marshall *automatic* di lab transgeo kampus ITS Manyar mengalami *error* yang menyebabkan nilai yang dihasilkan terlampau besar dan tidak masuk akal baik nilai *flow* maupun stabilitas.

Oleh karena itu, penulis melakukan pembuatan benda uji baru salah satu kadar aspal rencana yang semua nilai uji parameter sebelumnya memenuhi spesifikasi umum binamarga untuk dilakukan uji marshall dengan alat uji marshal manual. Dibuat 3 benda uji baru dengan kadar aspal 6.28% yang bertujuan untuk

mendapatkan nilai *safety factor* terhadap hasil *flow* alat uji marshall *automatic.* Didapatkan nilai hasil uji sebagai berikut :

Kadar Aspal 6.28 %					
1	AKK Rev.1	400.00	0,01	4.0	2,0-4,0
2	AKK Rev.2	390.00	0,01	3.9	
3	AKK Rev.3	310.00	0,01	3.1	
Rata-rata				3.667	

Setelah mendapatkan nilai dari hasil uji marshall manual, seluruh benda uji kadar aspal rencana 6.28 % memenuhi spesifikasi baik dari benda uji 1, benda uji 2 maupun benda uji 3. Lalu, kita bisa menemukan *safety factor* nya dengan rumus :

$$Safety\ factor = \frac{Automatic\ Marshall\ Flow\ - Manually\ marshall\ flow}{Automatic\ Marshall\ Flow}$$

$$= \frac{5.90 - 4.0}{5.90} \qquad = 0.322$$

$$= \frac{6.20 - 3.9}{6.20} \qquad = 0.370$$

$$= \frac{6.70 - 3.1}{6.70} \qquad = 0.537$$

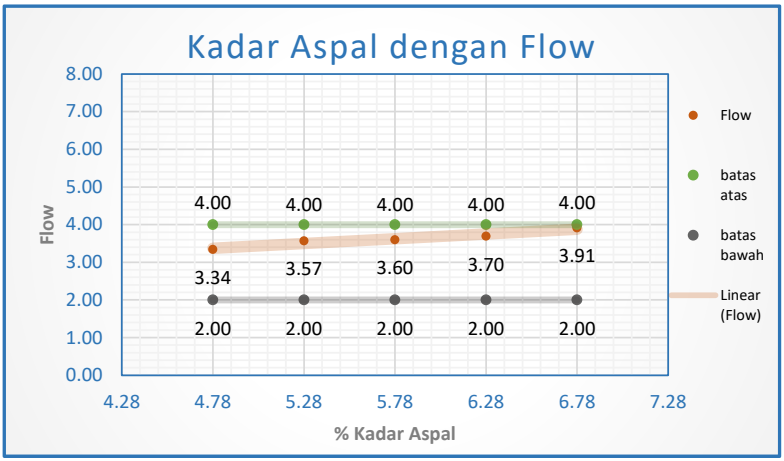
$$= \frac{0.322 + 0.370 + 0.537}{3} = 0.4096 = 0.41$$

Setelah mendapatkan angka safety factor, didapatkan data hasil benda uji kadar aspal rencana sebagai berikut :

Table 4.23 Nilai Flow Setelah di kalibrasi

No	Variasi kadar aspal	*Flow Marshall Auto*	*Flow*	*Syarat*
	(%)	(mm)	(mm)	(mm)
1	4.78	7.10	4.19	2,0-4,0
		5.60	3.30	
		4.30	2.54	
		5.67	3.34	
2	5.28	6.10	3.60	2,0-4,0
		6.00	3.54	
		7.00	4.13	
Rata-rata		6.37	3.57	
3	5.78	6.60	3.89	2,0-4,0
		6.20	3.66	
		5.50	3.25	
Rata-rata		6.10	3.60	
4	6.28	5.9	3.5	2,0-4,0
		6.2	3.7	
		6.7	4.0	
Rata-rata		6.3	3.7	
5	6.78	5.20	3.07	2,0-4,0
		6.30	3.72	
		8.40	4.96	
Rata-rata		6.63	3.91	

Dari tabel 4.23 dapat dilihat setelah dilakukan perbandingan terhadap nilai benda uji menggunakan marshall manual, didapatkan nilai yang rata rata secara keseluruhan telah memenuhi syarat dari spesifikasi umum 2018. Maka dari itu grafik perbandingan kadar aspal terhadap flow setelah di revisi sebagai berikut :



Gambar. 4.7 Grafik flow setelah di kalibrasi

Dari grafik diatas, dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar aspal, maka semakin tinggi pula nilai flow nya. Dan setelah dilakukan perbandingan, didapatkan semua kadar aspal rencana memenuhi spesifikasi umum binamarga 2018. Nilai rata-rata flow tertinggi yakni sebesar 3,91 mm dengan kadar aspal rencana 6,78%. Sedangkan nilai rata-rata flow terendah yakni sebesar 3,34 mm pada kadar aspal rencana 4,78%.

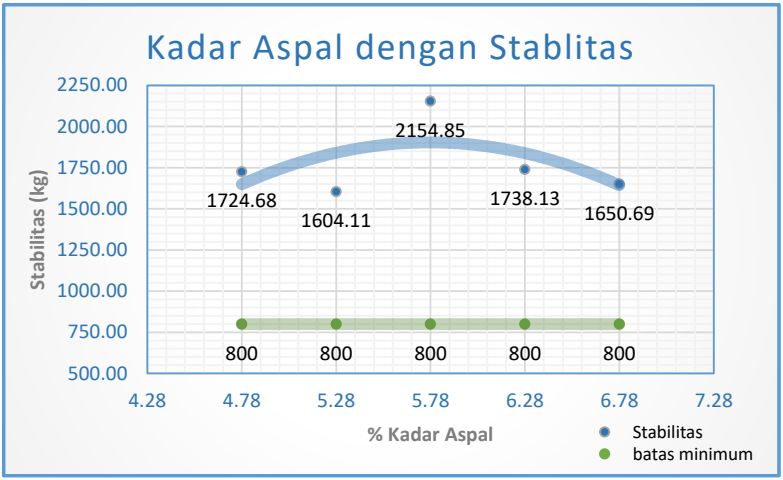
4.4.6 Stabilitas

Menurut Sukirman stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan bleeding. Sesuai perhitungan rencana dan hasil uji tes marshall, didapat nilai stabilitas sebagai berikut :

Table 4.24 Nilai Stabilitas Konvensional

No	Kode Aspal	Berat Kering	Stabilitas		Flow	Flow Kalibrasi
		gr	kN	kg	mm	mm
Kadar Aspal Rencana = 4.78%						
1	AKK1	1190.1	**21.03**	**2144.63**	7.1	4.189
2	AKK2	1186.9	**17.90**	**1825.26**	5.6	3.304
3	AKK3	1187.2	**22.95**	**2339.91**	4.3	2.537
Rata Rata			**20.63**	**2103.27**	5.67	3.343
Kadar Aspal Rencana = 5.28 %						
1	AKK1	1194.3	**18.95**	**1932.54**	6.1	3.599
2	AKK2	1194.1	**18.67**	**1903.27**	6.0	3.540
3	AKK3	1186.4	**19.94**	**2032.87**	7.0	4.130
Rata Rata			**19.18**	**1956.23**	6.37	3.570
Kadar Aspal Rencana = 5.78%						
1	AKK1	1178.9	**26.86**	**2739.02**	6.6	3.894
2	AKK2	1182.6	**25.60**	**2610.84**	6.2	3.658
3	AKK3	1187	**24.85**	**2533.75**	5.5	3.245
Rata Rata			**25.77**	**2572.30**	6.10	3.599
Kadar Aspal Rencana = 6.28%						
1	AKK1	1189.5	**15.35**	**1565.65**	5.9	3.481
2	AKK2	1194.5	**17.29**	**1762.86**	6.2	3.658
3	AKK3	1191.3	**15.67**	**1598.28**	6.7	3.953
Rata Rata			**16.11**	**1120.38**	6.3	3.697
Kadar Aspal Rencana = 6.78%						
1	AKK1	1174.5	**18.61**	**1897.56**	5.2	3.068
2	AKK2	1183.7	**15.85**	**1616.22**	6.3	3.717
3	AKK3	1178.7	**14.11**	**1438.29**	8.4	4.956
Rata Rata			**16.19**	**1650.69**	6.6	3.914

Stabilitas merupakan hasil bacaan pada jarum pembaca yang dikalikan dengan angka kalibrasi yang sudah terprogram dalam system. Berikut grafik dari hasil benda uji kadar aspal rencana :



Gambar. 4.8 Grafik Stabilitas Konvensional

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan nilai stabilitas pada kadar aspal 4,78% - 5,28% dan terjadi penurunan pada kadar aspal 6,28% - 6,78%. Jika ditarik garis regresi, maka dengan penambahan kadar aspal terjadi kenaikan nilai stabilitas kemudian turun kembali. Nilai rata-rata stabilitas tertinggi yakni sebesar 2154.85 kg dengan kadar aspal 5,78%. Sedangkan nilai rata-rata stabilitas terendah yakni sebesar 1604.11 kg dengan kadar aspal 5,28%. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa nilai rata–rata stabilitas telah memenuhi spesifikasi yakni tidak kurang dari 800 kg.

4.4.7 *Marshall Quotient*

Berikut adalah hasil analisa *marshall quotient* pada campuran aspal rencana :
Contoh penghitugan

MQ = stabilitas/Flow

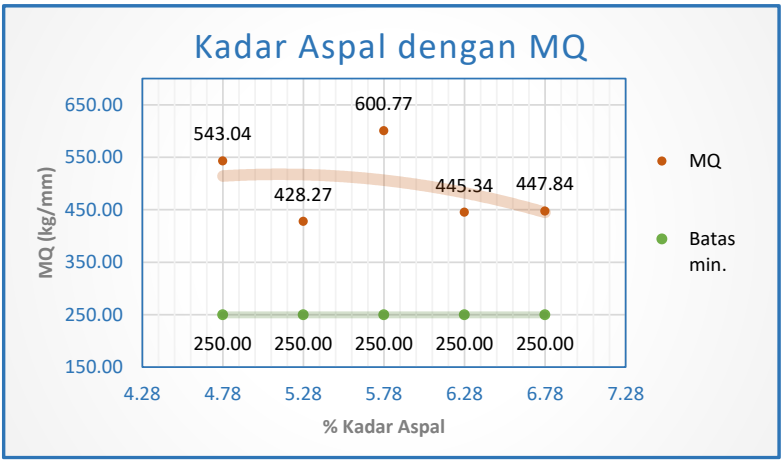
MQ = 1565,65/5.9

MQ = 265.364 kg/mm

Table 4.25 Nilai Marshall Quotient Konvensional

No	Variasi kadar aspal	*Stabilitas*	*Stabilitas kalibrasi*	*Flow kalibrasi*	*MQ*
	(%)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	4.78	2144.63	1758.60	4.19	419.81
2	4.78	1825.26	1496.72	3.30	453.00
3	4.78	2339.91	1918.72	2.54	756.30
Rata-rata		2103.27	1627.66	3.34	543.04
1	5.28	1932.54	1584.68	3.60	440.31
2	5.28	1903.27	1560.68	3.54	440.87
3	5.28	2032.87	1666.96	4.13	403.62
Rata-rata		1956.23	1604.11	3.57	428.27
1	5.78	2739.02	2245.99	3.89	576.78
2	5.78	2610.84	2140.89	3.66	585.26
3	5.78	2533.75	2077.68	3.25	640.27
Rata-rata		2572.30	2154.85	3.60	600.77
1	6.28	1565.65	1565.65	3.48	449.77
2	6.28	1762.86	1762.86	3.66	481.92
3	6.28	1598.28	1598.28	3.95	404.32
Rata-rata		1738.13	1738.13	3.70	445.34
1	6.78	1897.56	1897.56	3.07	618.50
2	6.78	1616.22	1616.22	3.72	434.82
3	6.78	1438.29	1438.29	4.96	290.21
Rata-rata		1650.69	1650.69	3.91	447.84

Marshall quotient merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*.



Gambar. 4.9 Grafik MQ Konvensional

Dari grafik diatas didapatkan beberapa kesimpulan bahwa grafik dari *MQ* sendiri merupakan grafik yang berkorelasi dengan stabilitas dan flow karena merupakan hasil bagi dari 2 parameter tersebut. Maka dari itu, Jika ditarik garis regresi, maka dengan penambahan kadar aspal rencana terjadi kenaikan nilai *MQ* kemudian turun kembali. Untuk nilai *MQ* terbesar, terdapat pada hasil benda uji kadar aspal rencana 5,78 % sebesar 600,77 kg/mm. Hal ini terjadi karena benda uji dengan kadar aspal rencana memiliki stabilitas yang besar pula. Untuk rata-rata nilai *MQ* paling rendah terdapat pada benda uji kadar aspal rencana 5,28% yakni sebesar 428.27 kg/mm

Setelah seluruh parameter sudah didapatkan dan sudah mengetahui hasil dari pengujian, maka kita dapat menentukan kadar aspal optimum dari data yang didapatkan, yaitu menentukan mana kadar

aspal rencana yang paling memungkinkan untuk dijadikan kadar aspal optimum. Pada tabel dibawah ini, terdapat 2 jenis kadar aspal rencana yang memenuhi parameter marshall, yaitu kadar aspal rencana 6,28% dan 6,78%. Penulis menggunakan 6,28% sebagai KAO karena nilai stabilitas nya lebih besar, serta nilai nilai parameter lain lebih baik daripada kadar aspal 6,78%.

Table 4.26 Nilai Kadar Aspal Optimum

Parameter Aspal	Spesifikasi	Kisaran	Kadar Aspal Optimum (KAO) %				
Stabilitas	>800 kg	4.78-6.78					
Flow	2-4 mm	4.78-6.78					
VIM	3-5 %	4.78-6.78					
VFA	> 65 %	4.78-6.78					
VMA	> 14%	4.78-6.78					
MQ	> 250 kg/mm	4.78-6.78					
Kadar Aspal rencana Pb(%)			4.78	5.28	5.78	6.28	6.78
Kadar Aspal Optimum			6.28%				

4.5 Perencanaan Pembuatan Benda Uji dengan Campuran LDPE dan Limbah Karet

Pada perencanaan pembuatan benda uji campuran LDPE dan limbah karet menggunakan kadar aspal optimum (KAO) yakni 6,28%. Sedangkan untuk presentase plastic dan karet digunakan variasi 2%, 4%, 6%, 8% dan 10 % dari total aspal dengan perbandingan antara LDPE dan limbah karet nya masing-masing 50:50. Berikut merupakam perhitungan proporsi campuran bahan :

- Campuran LDPE dan Limbah Karet

Pada perencanaan pembuatan benda uji dengan campuran LDPE (*low density polyethylene)* dan limbah karet menggunakan kadar aspal optimum 6,28%. Lalu, presentase bahan *additive* plastik LDPE dan limbah karet 2%; 4%; 6%; 8%; dan 10% dari total berat kadar aspal. Berikut merupakan perhitungan proporsi campuran bahan :

Table 4.27 KAO 6,28% dengan Campuran LDPE + Limbah Karet 2%

Variasi 1			
Kadar Aspal Optimum			6.28 %
Berat Sampel			1200 gr
Berat Kadar Aspal + additive			75.4 gr
LDPE + Limbah Karet	:	**2 %**	1.507 gr
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	**12 %**	135 gr
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	**18 %**	202 gr
Berat Agg. Med. (5-10)mm	:	**23 %**	259 gr
Berat Agg. Halus (0-5)mm	:	**47 %**	529 gr
Filler	:	**0%**	0 gr
Total			**1200 gr**

Table 4.28 KAO 6,28% dengan Campuran LDPE + Limbah Karet 4%

Variasi 2			
Kadar Aspal Optimum			6.28 %
Berat Sampel			1200 gr
Berat Kadar Aspal + additive			75.4 gr
LDPE + Limbah Karet	:	**4 %**	3.014 gr
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	**12 %**	135 gr
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	**18 %**	202 gr
Berat Agg. Med. (5-10)mm	:	**23 %**	259 gr
Berat Agg. Halus (0-5)mm	:	**47 %**	529 gr
Filler	:	**0%**	0 gr
Total			**1200 gr**

Table 4.29 KAO 6,28% dengan Campuran LDPE + Limbah Karet 6%

Variasi 3			
Kadar Aspal Optimum			6.28 %
Berat Sampel			1200 gr
Berat Kadar Aspal + additive			75.4 gr
LDPE + Limbah Karet	:	**6 %**	4.522 gr
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	**12 %**	135 gr
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	**18 %**	202 gr
Berat Agg. Med. (5-10)mm	:	**23 %**	259 gr
Berat Agg. Halus (0-5)mm	:	**47 %**	529 gr
Filler	:	**0%**	gr
Total			**1200 gr**

Table 4.30 KAO 6,28% dengan Campuran LDPE + Limbah Karet 8%

Variasi 4			
Kadar Aspal Optimum			6.28 %
Berat Sampel			1200 gr
Berat Kadar Aspal + additive			75.4 gr
LDPE + Limbah Karet	:	**8 %**	6.029 gr
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	**12 %**	135 gr
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	**18 %**	202 gr
Berat Agg. Med. (5-10)mm	:	**23 %**	259 gr
Berat Agg. Halus (0-5)mm	:	**47 %**	529 gr
Filler	:	**0%**	0 gr
Total			**1200 gr**

Table 4.31 KAO 6,28% dengan Campuran LDPE + Limbah Karet 10%

Variasi 5			
Kadar Aspal Optimum			6.28 %
Berat Sampel			1200 gr
Berat Kadar Aspal + additive			75.4 gr
LDPE + Limbah Karet	:	**10 %**	7.536 gr
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	**12 %**	135 gr
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	**18 %**	202 gr
Berat Agg. Med. (5-10)mm	:	**23 %**	259 gr
Berat Agg. Halus (0-5)mm	:	**47 %**	529 gr
Filler	:	**0%**	0 gr
Total			1200 gr

Berikut penjelasan mengenai proporsi variasi campuran KAO :

$$Berat\ KAO = \frac{\%\ KAO}{100\%} + Bobot\ sampel$$

$$= \frac{6{,}23}{100\%} + 1200 = 75{,}4\ gr$$

$$Berat\ LDPE + Karet = \frac{\%\ LDPE + Karet}{100\%} + Bobot\ sampel$$

$$= \frac{2}{100\%} + 1200 = 1{,}504\ gr$$

$$Berat\ kadar\ Aspal = Berat\ KAO - Berat\ Plastik$$

$$= 75{,}4\ \text{gr} - 1{,}504\ \text{gr} = 73{,}9\ \text{gr}$$

$$Berat\ Agg.Halus = 1200 - 75{,}4 = 1124{,}6\ gram$$

$$= 47/100 \text{ x } 1124{,}6 = 528{,}56 \text{ gr}$$

$$Berat\ Agg.Medium = \frac{23}{100} x\ 1124{,}6 = 258{,}66\ gr$$

$$Berat\ Agg.Medium\ = \frac{30}{100} x\ 1124{,}6 = 337{,}4\ gr$$

4.6 Pengujian Karakteristik Aspal

- **Berat Jenis Aspal**

Table 4.32 Nilai Berat Jenis Aspal Modifikasi

	Pengujian Berat Jenis Aspal					
	Kadar Campuran Karet Plastik					
	0%	2%	4%	6%	8%	10%
Berat Jenis	1.07	1.07	1.08	1.08	1.08	1.08
Berat Jenis Standar	1	1	1	1	1	1

Untuk BJ aspal semakin tinggi dibandingkan Aspal Konvensional. Bisa disimpulkan bahwa penambahan additive menyebabkan nilai BJ Aspal semakin tinggi.

- **Kehilangan Berat**

Table 4.33 Nilai Kehilangan Berat Aspal Modifikasi

Aspal Pen.60/70	Pengujian Kehilangan Berat Aspal					
	Kadar Campuran Karet Plastik					
	0%	2%	4%	6%	8%	10%
Penetrasi	0.31	0.02	0.05	0.1	0.08	0.08

- **Uji Penetrasi Aspal**

Table 4.34 Nilai Penetrasi Aspal Modifikasi

Aspal Pen.60/70	Pengujian Penetrasi Aspal					
	Kadar Campuran Karet Plastik					
	0%	2%	4%	6%	8%	10%
Penetrasi	70.9	55.6	40.3	33.8	27.4	20

Menurut Tiara Kusuma Rini semakin banyak kadar limbah karet ban yang ditambahkan kedalam aspal, maka aspal menjadi semakin keras sehingga penetrasi menurun. Apalagi ditambahkan pula LDPE yang semakin menurunkan nilai penetrasi.

- **Titik Lembek**

Table 4.35 Nilai Titik Lembek Modifikasi

Aspal Pen.60/70	Pengujian Titik Lembek Aspal					
	Kadar Campuran Karet Plastik					
	0%	2%	4%	6%	8%	10%
Titik Lembek	54	55.5	55	56	55.5	55

Menurut Tiara Kusuma Rini , semakin banyak kadar limbah karet ban yang ditambahkan kedalam aspal, maka aspal menjadi semakin lembek sehingga titik lembek naik. Namun, karena ada tambahan LDPE pada tiap presentase nya, menyebabkan puncak titik lembek yaitu pada presentase 6% lalu kemudian turun kembali di 8% dan 10% nya yakni sebesar 55,5% dan 55%.

4.7 Pengujian Marshall Campuran Aspal Plastik dan Karet

Untuk mengetahui pengaruh penambahan LDPE dan limbah karet pada laston lapis antara (AC-BC), perlu dilakukan uji *marshall* berdasarkan parameter yang telah ditentukan masing-masing benda uji. Disiapkan masing masing 3 benda uji dalam setiap presentase penambahan *additive* pada sampel. Dari pengujian marshall dapat diketahui apakah dengan penambahan LDPE dan limbah karet meningkatkan kinerja aspal tersebut atau tidak, menjawab tujuan dari tugas akhir ini atau tidak.

Pada proses pengerjaan nya, pencacahan limbah karet cukup sulit karena harus dicacah sehalus mungkin agar pada proses pencampuran (*wet process),* aspal dan limbah karet menjadi benar-benar homogen pada suhu tertentu. Hasil yang akan didapatkan nantinya akan dianalisa terkait perbedaan antara campuran aspal tanpa dan dengan penambahan additive LDPE serta limbah karet.

4.7.1 *Density*

Density dipengaruhi oleh berbagai macam faktor, diantaranya gradasi agregat, BJ agregat, proses pemadatan, suhu dan jumlah tumbukan. Sesuai perhitungan berat kering, berat jenuh dan berat benda uji dalam air, berikut tabel hasil uji dan contoh perhitungan *density* benda uji modifikasi :

- $Density = \frac{Berat\ kering}{Berat\ SSD - Berat\ dalam\ air}$

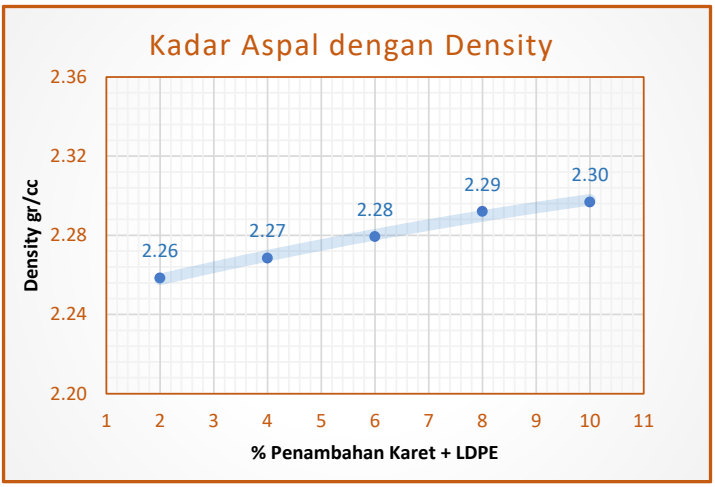
$$= \frac{1189}{1192{,}6 - 678} = 2.31 \text{ gr/cc}$$

Table 4.36 Nilai Density dengan penambahan LDPE dan limbah Karet

No	Kode Aspal	Berat Kering	Berat dalam Air	Berat SSD	Berat jenis Campuran
		gr	gr	gr	
Penambahan Karet + LDPE 2%					
1	AKM 1	1197	674.6	1215.7	**2.21**
2	AKM 2	1171	688.9	1208.8	**2.25**
3	AKM 3	1189.6	678	1192.8	**2.31**
Rata Rata		1185.87	680.5	1205.77	**2.26**
Penambahan Karet + LDPE 4%					
1	AKM 1	1178	678.6	1198.1	**2.27**
2	AKM 2	1181.9	675.5	1199.5	**2.26**
3	AKM 3	1181.9	676.3	1194.1	**2.28**
Rata Rata		1180.60	676.80	1197.23	**2.27**
Penambahan Karet + LDPE 6%					
1	AKM 1	1179.7	675.1	1192	**2.28**
2	AKM 2	1168.5	673.2	1183.7	**2.29**
3	AKM 3	1182.5	678	1199.6	**2.27**
Rata Rata		1176.90	675.43	1191.77	**2.28**
Penambahan Karet + LDPE 8%					
1	AKM 1	1186.5	679.8	1196.7	**2.30**
2	AKM 2	1187.4	679.2	1197.6	**2.29**
3	AKM 3	1178.6	676.1	1190.7	**2.29**
Rata Rata		1184.17	678.37	1195.00	**2.29**
Penambahan Karet + LDPE 10%					
1	AKM 1	1197	683.7	1204.7	**2.30**
2	AKM 2	1192	679	1198.1	**2.30**
Rata Rata		1194.5	681.35	1201.4	**2.30**

Density atau kepadatan aspal merupakan perbandingan antara berat campuran aspal dengan volume campuran dalam satuan gr/cm3. Pada penambahan bahan *additive* karet dan LDPE

menyebabkan perubahan kepadatan yang berbeda dibandingkan nilai rata- rata *density* pada kadar aspal optimum 6,28%. Berikut grafik perbandingan antara presentase penambahan *additive* karet dan LDPE dengan kepadatan :



Gambar. 4.10 Grafik Density dengan penambahan LDPE dan Limbah Karet

Dari grafik yang tertera diatas, bisa ditarik kesimpulan bahwa seiring dengan penambahan kadar plastik LDPE dan limbah karet, nilai density cenderung meningkat seiring bertambahnya kadar penambahan LDPE dan limbah karet. Menurut Purnamasari, P.E., nilai *density* campuran aspal yang tidak ditambah plastik hasilnya lebih besar dari pada campuran yang ditambahkan plastik. Namun, nilai *density* nya masih dibawah dari nilai rata-rata *density* dari benda uji konvensional 6,28% yakni sebesar 2,30.

Hal ini disebabkan oleh additive LDPE dan limbah karet yang tidak sepenuhnya homogen dalam proses pencampuran

aspal *(wet process)* sehingga sifat dari LDPE dan karet sebagai pengganti aspal yang memiliki Kemampatan yang tinggi serta kekedapan terhadap air dan udara yang tinggi tidak sepenuhnya terimplementasi dengan baik. Hanya saja, nilai stabilitas dari benda uji dengan campuran LDPE + limbah karet ini terlampau baik. Dan semakin tinggi nilai kepadatan menunjukkan semakin padat campuran aspal.

4.7.2 Void in Mix

Void in Mix merupakan volume total udara yang berada diantara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan. Ketika aspal dicampur bahan *additive* berupa LDPE dan limbah karet *(wet process),* berikut hasil uji marshall parameter VIM dalam satuan persen dan contoh perhitungannya :

Agregat	Bj.Bulk (γ Ov)	Bj.Semu (γ App)	% Berat Total Agregat
10-20 mm	2.60	2.709	12
10-10 mm	2.63	2.727	18
5 - 10 mm	2.64	2.731	23
0 - 5 mm	2.63	2.709	47

- BJ Bulk dari total agregat
  $= (\gamma Ov \times a) + (\gamma Ov \times b) + (\gamma Ov \times c)$
  = (2,60 x 12%) + (2,63 x 18%) + (2,64 x 23%) + (2.63 x 47%)

= 2.628 gr/cm³

- BJ Efektif dari total agregat

$$= \frac{\text{BJ Bulk} + ((\gamma\text{App x a}) + (\gamma\text{App x b}) + (\gamma\text{App x c}))}{2}$$

$$= \frac{2{,}628 + ((2{,}709\text{x}12\%) + (2{,}727\text{x}18\%) + (2{,}731\text{x}\ 23\%) + (2{,}709\text{x}\ 47\%))}{2}$$

= 2,67 gr/cm³

- BJ Maksimum Teoritis

$$= \frac{100}{\frac{(100 - \%aspal)}{Bj.Agr} + \left(\frac{\%aspal}{Bj.Asp}\right)}$$

$$= \frac{100}{\frac{(100 - 4.78)}{2{,}67} + \left(\frac{6.28}{1{,}03}\right)}$$

= 2,43 gr/cm³

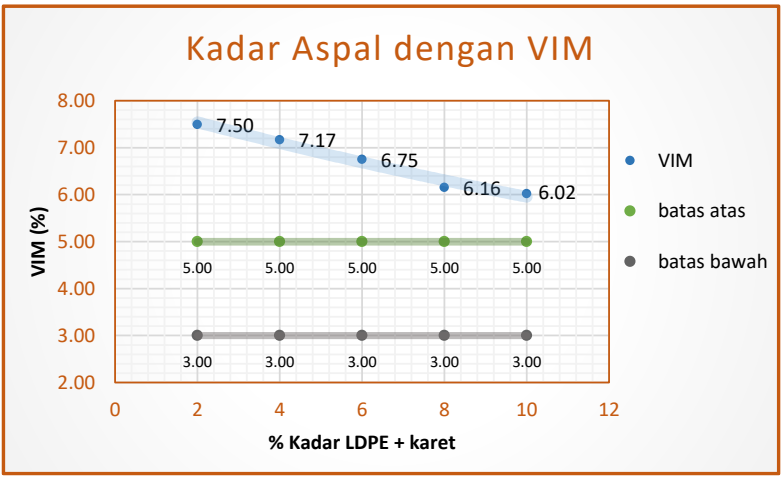
- *Void in Mix (VIM)*

$$= 100\ x\ \frac{BJ\ maksimum\ teoritis - BJ\ Bulk\ Camp}{BJ\ Maksimum\ teoritis}$$

$$= 100\ x\ \frac{2{,}41 - 2{,}33}{2{,}41} = 3.356\ \%$$

Table 4.37 Nilai Void in Mix (VIM) dengan penambahan LDPE dan limbah Karet

No	Variasi penambahan *Additive*	BJ maksimum Teoritis	Density	Syarat	VIM
	(%)	(gr/cm^3)	(gr/cm^3)	(gr/cm^3)	(%)
1	2	2.44	2.21	3-5	9.391
2		2.44	2.25		7.745
3		2.44	2.31		5.351
Rata-rata			**2.26**		**6.980**
1	4	2.44	2.27	3-5	7.208
2		2.44	2.26		7.701
3		2.44	2.28		6.595
Rata-rata			**2.27**		**6.570**
1	6	2.44	2.28	3-5	6.631
2		2.44	2.29		6.358
3		2.44	2.27		7.253
Rata-rata			**2.28**		**6.120**
1	8	2.44	2.30	3-5	6.093
2		2.44	2.29		6.294
3		2.44	2.29		6.302
Rata-rata			**2.29**		**5.590**
1	10	2.44	2.30	3-5	5.995
2		2.44	2.30		6.045
Rata-rata			**2.30**		**6.020**



Gambar. 4.11 grafik VIM dengan penambahan LDPE dan Karet

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya kadar plastik LDPE dan limbah karet, Nilai VIM secara linear terjadi penurunan seiring bertambahnya presentase *additive* tersebut. Menurut Suherman Sulaiman , Jika nilai VIM terlalu tinggi, maka campuran bersifat porus dan mudah terjadi oksidasi yang dapat mempercepat penuaan aspal dan menurunkan durabilitas campuran. Grafik diatas memperlihatkan bahwa penambahan kadar karet pada aspal modifikasi karet 10,0% dapat menurunkan nilai VIM.

Penurunan nilai VIM dapat menjadi indikasi ketahanan campuran terhadap defomasi karena pori agregat terisi dengan baik. Menurut Purnamasari P.E, mengatakan bahwa dengan penambahan plastik pada campuran aspal dapat meningkatkan nilai VIM pada campuran. Sehingga semakin tinggi kadar plastik yang ditambahkan maka akan semakin tinggi pula nilai VIM nya.

Berdasarkan 2 jurnal diatas serta hasil dari uji marshall pada grafik diatas, dapat disimpulkan bahwa *additive* plastik yang menyebabkan rongga dalam tidak terisi dengan baik sehingga mengurangi durabilitas namun meningkatkan stabilitas. Sedangkan *additive* limbah karet disini memperbaiki hal tersebut dengan mengisi rongga dalam campuran yang tidak terisi sehingga semakin besar presentase nya *VIM* nya semakin turun dan semakin mendekati spesifikasi umum binamarga 2018.

4.7.3 Void in Mineral Agregate

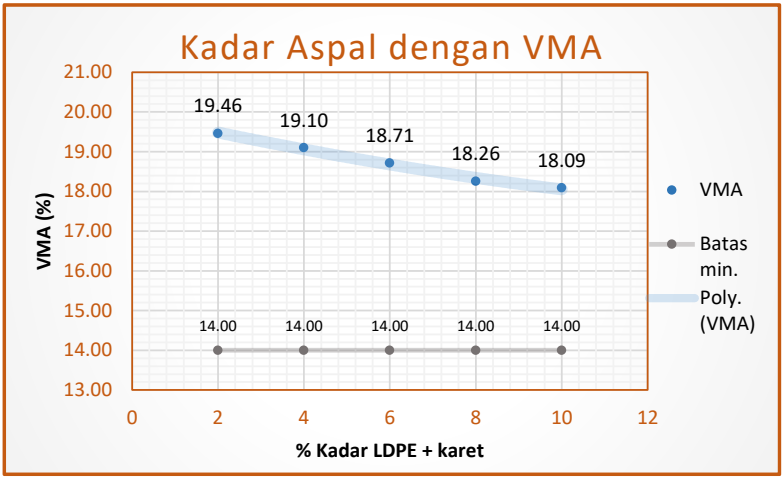
Void in mineral aggregate pada benda uji aspal modifikasi dengan penambahan limbah karet dan LDPE dilampirkan pada tabel dibawah ini beserta contoh perhitungannya :

Contoh Perhitungan Kadar aspal 6.28 % :

$$VMA = 100 - \left(\frac{(100 - \%Kadar\ Aspal)\ x\ Density}{BJ\ bulk\ Agg.}\right)$$

$$VMA = 100 - \left(\frac{(100 - 6.28\ )x\ 2.26}{2.63}\right) = 18.23\ \%$$

VMA atau *Void in mineral aggregate* adalah rongga yang ada diantara mineral agregat suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan.



Gambar. 4.12 Grafik VMA dengan penambahan LDPE dan Karet

Menurut Rahmawati A, mengatakan bahwa dengan penambahan plastik pada campuran aspal dapat menurunkan nilai VMA pada campuran. Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa nilai VMA tertinggi terdapat pada benda uji dengan kadar LDPE dan limbah karet 2% dengan nilai 19.46%. Sedangkan nilai terendahnya terdapat pada benda uji dengan kadar LDPE dan limbah karet 10 % dengan nilai 18,09%. Nilai VMA cenderung menurun seiring bertambahnya nilai kadar aspal rencana, dan seluruh variasi dengan presentase 2-10% memenuhi spesifikasi umum binamarga 2018.

4.7.4 Void Filled Asphalt

Menurut Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah Tahun 2004, VFA adalah bagian dari rongga yang berada diantara mineral agregat (VMA) yang terisi oleh aspal efektif,dinyatakan dalam persen. Rongga terisi aspal *(Void Filled with Asphalt*) berperngaruh terhadap keawetan dari campuran beraspal. Dari pengujian marshall, didapatkan nilai *Void Filled Asphalt* sebagai berikut :

Contoh perhitungan *VFA* :

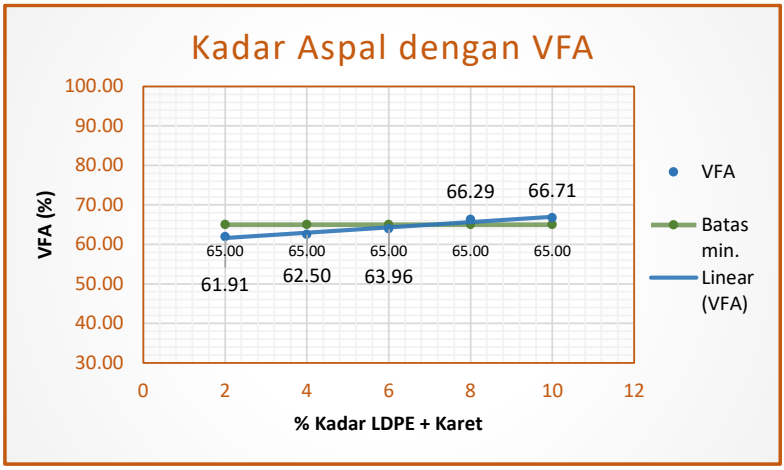
$$VFA = 100\ x \left(\frac{VMA - VIM}{VMA}\right)$$

$$VFA = 100\ x \left(\frac{18.24-9.07}{18.24}\right) = 50.25\ \%$$

Table 4.38 Nilai VFA dengan penambahan LDPE dan limbah karet

No.	Kode Aspal	Density	VMA	VIM	VFA	Syarat
		(gr/cc)	(gr/cc)	(%)	(%)	
Kadar LDPE + Limbah karet 2%						
1	AKM 1	2.21	21.17	9.39	55.51	> 65
2	AKM 2	2.25	19.74	7.74	60.63	
3	AKM 3	2.31	17.65	5.35	69.58	
Rata-rata		2.26	19.52	**7.50**	**61.91**	
Kadar LDPE + Limbah karet 4%						
1	AKM 1	2.27	19.20	7.21	62.32	> 65
2	AKM 2	2.26	19.62	7.70	60.63	
3	AKM 3	2.28	18.66	6.60	64.54	
Rata-rata		2.27	19.16	6.57	**62.50**	

Kadar LDPE + Limbah karet 6%						
1	AKM 1	2.28	18.67	6.63	64.36	> 65
2	AKM 2	2.29	18.43	6.36	65.39	
3	AKM 3	2.27	19.21	7.25	62.12	
Rata-rata		2.28	18.77	6.12	**63.96**	
Kadar LDPE + Limbah karet 8%						
1	AKM 1	2.30	18.20	6.09	66.41	> 65
2	AKM 2	2.29	18.38	6.29	66.24	
3	AKM 3	2.29	18.38	6.30	66.21	
Rata-rata		2.29	18.32	5.59	**66.29**	
Kadar LDPE + Limbah karet 10%						
1	AKM 1	2.30	18.13	6.00	66.81	> 65
2	AKM 2	2.30	18.17	6.05	66.61	
Rata-rata		2.30	**18.15**	**6.02**	**66.71**	



Gambar. 4.13 Grafik VFA dengan penambahan LDPE dan limbah karet

Dari grafik 4.13 diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa

semakin tinggi kadar LDPE dan limbah karet, maka semakin tinggi pula nilai presentase dari rongga yang terisi aspal. Benda uji dengan kadar LDPE dan limbah karet 10% memiliki rata-rata tertinggi yakni sebesar 70,15%

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, pola regresi nilai rata-rata VFA mengalami kenaikan seiring penambahan kadar aspal. Bustamin Abd. Razak, mengatakan bahwa dengan penambahan plastik pada campuran aspal dapat menurunkan nilai VFA pada campuran. Menurut Suherman Sulaiman, pada aspal modifikasi karet, VFA lebih rendah daripada campuran aspal tanpa modifikasi karet. Hal ini menunjukkan bahwa karet membantu kemampuan aspal untuk mengisi rongga agregat. Menarik kesimpulan dari 2 jurnal diatas, dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan karet dan plastik LDPE secara tidak langsung menyeimbangkan dan saling mengisi. Pada penambahan kadar LDPE dan limbah karet 10% juga meningkatkan nilai VFA dibandingkan VFA konvensional kadar aspal optimum.

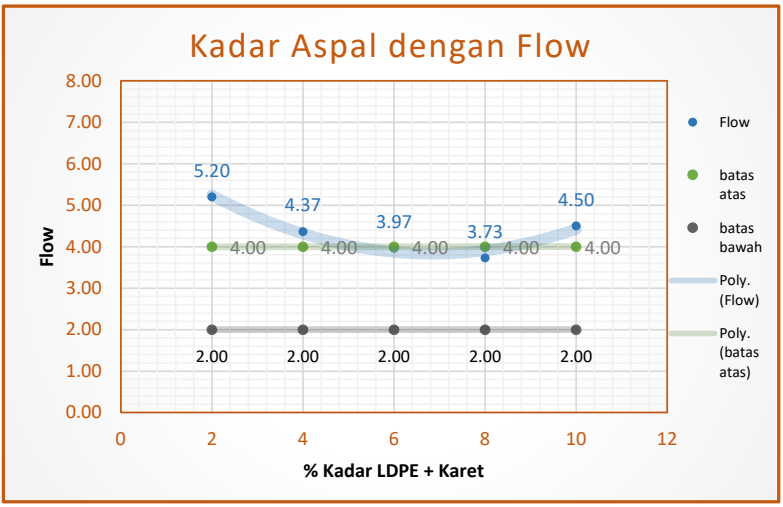
4.7.5 Flow

Flow merupakan besarnya perubahan bentuk plastis suatu benda uji campuran beraspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas maksimum keruntuhan, dan dinyatakan dalam satuan Panjang (mm).

Dalam pengujian benda uji kadar aspal rencana yang telah ditentukan, dilampirkan hasil uji marshall terhadap nilai *flow* sebagai berikut :

Table 4.39 Nilai Flow dengan penambahan LDPE dan penambahan karet

No	Variasi kadar LDPE + Karet	*Bacaan*	*Konversi*	*Flow*	*Syarat*
	(%)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	2	510.00	0,01	5.10	2,0-4,0
2		410.00	0,01	4.10	
3		640.00	0,01	6.40	
Rata-rata				5.20	
1	4	480.00	0,01	4.80	2,0-4,0
2		390.00	0,01	3.90	
3		440.00	0,01	4.40	
Rata-rata				4.37	
1	6	510.00	0,01	5.10	2,0-4,0
2		350.00	0,01	3.50	
3		330.00	0,01	3.30	
Rata-rata				3.97	
1	8	480.00	0,01	4.8	2,0-4,0
2		280.00	0,01	2.8	
3		360.00	0,01	3.6	
Rata-rata				3.73	
1	10	510.00	0,01	5.10	2,0-4,0
2		390.00	0,01	3.90	
Rata-rata				4.50	



Gambar. 4.14 grafik flow dengan penambahan LDPE dan karet

Dari grafik bisa kita lihat bahwa nilai flow tertinggi adalah kadar LDPE dan limbah karet sebesar 2%. Dimana flow nya mencapai 5.20 mm.

Menurut Purnamasari dan Rahmawati, mengatakan bahwa dengan penambahan plastik pada campuran aspal dapat menurunkan nilai *flow* pada campuran. Dari penelitian terdahulu yang telah dilakukan. Menurut Suherman Sulaiman, Nilai kelelehan yang rendah menunjukkan daya tahan terhadap deformasi yang baik. Namun, nilai kelelahan harus dibatasi agar tidak terlalu rendah, karena kelelahan yang rendah membuat campuran menjadi kaku dan rentan terhadap retak.

Penambahan dua jenis bahan additive tersebut dengan perbandingan 50:50 menyebabkan penuruna pada flow di presentase 2%-8% sedangkan flow pada penambahan LDPE dan

limbah karet 10% mengalami kenaikan lagi dengan nilai 4.50 mm. Getas yang disebabkan penambahan LDPE sehingga flownya menurun, namun bahan limbah karet menyebabkan kenaikan pada flow, sehingga lebih lentur dan tidak rentan terhadap retak, dengan deformasi yang masih masuk dibatas wajar. Untuk yang memenuhi spesifikasi diatas yaitu kadar LDPE dan limbah karet 6 % dan 8 %

4.7.6 Stabilitas

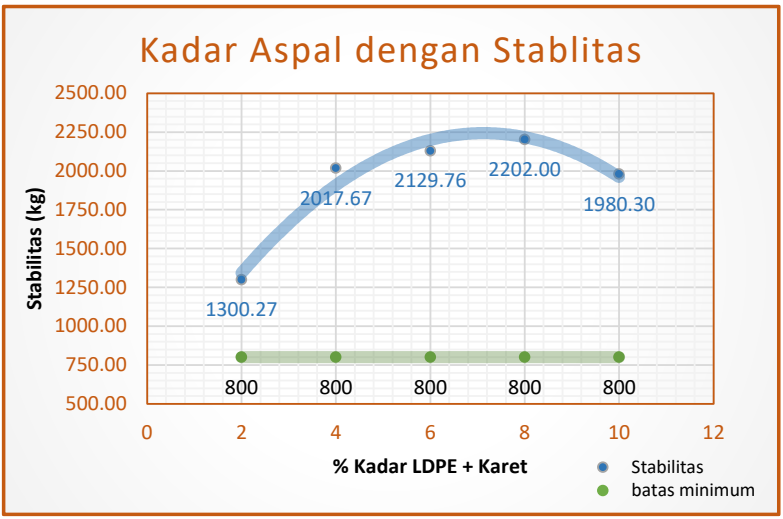
Menurut Sukirman, stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan bleeding. Sesuai perhitungan rencana dan hasil uji tes marshall, didapat nilai stabilitas sebagai berikut :

Table 4.40 Nilai stabilitas dengan penambahan LDPE dan karet

No	Kode Aspal	Berat Kering	Stabilitas		Flow
		gr	Bacaan Dial	kg	mm
Kadar LDPE + Limbah Karet 2%					
1	AKM1	1197	**75.00**	**1120.93**	5.1
2	AKM2	1171	**76.00**	**1135.87**	4.1
3	AKM3	1189.6	**110.00**	**1644.02**	6.4
Rata Rata			**87.00**	**1300.27**	5.20
Kadar LDPE + Limbah Karet 4%					
1	AKM1	1178	**140.00**	**2092.40**	4.8
2	AKM2	1181.9	**120.00**	**1793.48**	3.9
3	AKM3	1181.9	**145.00**	**2167.12**	4.4

Rata Rata			**135.00**	**2017.67**	4.37
Kadar LDPE + Limbah Karet 6%					
1	AKM1	1179.7	**104.00**	**1554.35**	5.1
2	AKM2	1168.5	**145.00**	**2167.12**	3.5
3	AKM3	1182.5	**140.00**	**2092.40**	3.3
Rata Rata			**129.67**	**2129.76**	3.97
Kadar LDPE + Limbah Karet 8%					
1	AKM1	1186.5	**150.00**	**2241.85**	4.8
2	AKM2	1187.4	**160.00**	**2391.31**	2.8
3	AKM3	1178.6	**158.00**	**2361.42**	3.6
Rata Rata			**156.00**	**1120.38**	3.7
Kadar LDPE + Limbah Karet 10%					
1	AKM1	1197	**125.00**	**1868.21**	5.1
2	AKM2	1192	**140.00**	**2092.40**	3.9
Rata Rata			**16.19**	**1650.69**	4.5

Stabilitas merupakan hasil bacaan pada jarum pembaca yang dikalikan dengan angka kalibrasi yang sudah ter program dalam system. Berikut grafik dari hasil benda uji kadar aspal rencana :



Gambar. 4.15 Grafik stabilitas dengan penambahan LDPE dan karet

Dari grafik 4.15 diatas dapat dilihat bahwa terjadi trend kenaikan nilai stabilitas pada kadar LDPE dan limbah karet 4% - 8% dan terjadi penurunan pada kadar LDPE dan limbah karet 10%. Nilai rata-rata stabilitas tertinggi yakni sebesar 2202 kg dengan kadar LDPE dan limbah karet 8%. Sedangkan nilai rata-rata stabilitas terendah yakni sebesar 1300.27 kg dengan kadar LDPE dan limbah karet 2%. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa nilai rata–rata stabilitas telah memenuhi spesifikasi yakni tidak kurang dari 800 kg, dan mayoritas lebih baik dari nilai stabilitas KAO konvensional yakni 1738kg.

4.7.7 *Marshall Quotient*

Berikut adalah hasil analisa *marshall quotient* pada campuran

aspal rencana :
Contoh penghitugan

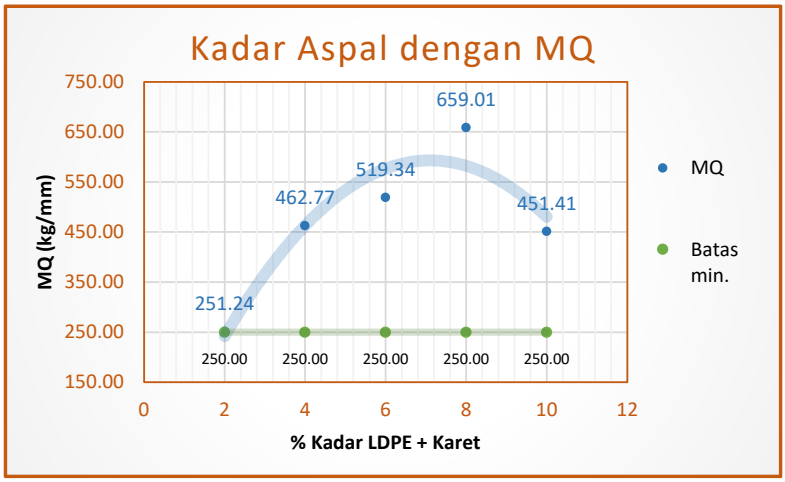
MQ = stabilitas/Flow

MQ = 1565,65/5.9 = 265.364 kg/mm

Table 4.41 Nilai MQ dengan penambahan LDPE dan Karet

No	Variasi kadar aspal	*Stabilitas*	*Stabilitas kalibrasi*	*Flow kalibrasi*	*MQ*
	(%)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	2	1120.93	1447.33	4.19	345.51
2		1135.87	1496.72	3.30	453.00
3		1644.02	1918.72	2.54	756.30
Rata-rata		1300.27	1620.92	3.34	518.27
1	4	2092.40	1584.68	3.60	440.31
2		1793.48	1560.68	3.54	440.87
3		2167.12	1666.96	4.13	403.62
Rata-rata		2017.67	1604.11	3.57	428.27
1	6	1554.35	2245.99	3.89	576.78
2		2167.12	2140.89	3.66	585.26
3		2092.40	2077.68	3.25	640.27
Rata-rata		2129.76	2154.85	3.60	600.77
1	8	2241.85	1565.65	3.48	449.77
2		2391.31	1762.86	3.66	481.92
3		2361.42	1598.28	3.95	404.32
Rata-rata		2202.00	1738.13	3.70	445.34
1	10	1868.21	1897.56	3.07	618.50
2		2092.40	1616.22	3.72	434.82
Rata-rata		1980.30	1650.69	3.91	526.66

Marshall quotient merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*.



Gambar. 4.16

Dari grafik diatas didapatkan beberapa kesimpulan bahwa grafik dari *MQ* sendiri merupakan grafik yang berkorelasi dengan stabilitas dan flow karena merupakan hasil bagi dari 2 parameter tersebut. Maka dari itu, Jika ditarik garis regresi, maka dengan penambahan kadar aspal rencana terjadi kenaikan nilai *MQ* kemudian turun kembali. Untuk nilai *MQ* terbesar, terdapat pada hasil benda uji kadar LDPE dan karet 8% yakni sebesar 659,01 kg/mm. Hal ini terjadi karena benda uji dengan kadar LDPE dan karet memiliki stabilitas yang besar pula. Untuk rata-rata nilai *MQ* paling rendah terdapat pada benda uji kadar LDPE dan karet 2% yakni sebesar 251,24 kg/mm

Setelah dilakukan analisa dari hasil pengujian marshall benda uji KAO penambahan LDPE dan limbah karet ban dalam, sudah cukup tergambar jelas bagaimana pengaruh dari karet maupun plastik terhadap parameter marshall maupun spesifikasi nya.

Untuk nilai density yang memiliki garis regresi naik namun tidak lebih besar dari nilai density rata-rata benda uji dengan KAO 6,28% disebabkan pada proses pencampuran basah belum benar benar homogen. Kedepannya, apabila memiliki alat pencacah karet atau plastik bisa menjadi solusi ketika dilakukan *wet process* sehingga bahan *additive* menjadi homogen dengan aspal, agar nilai densitas atau kepadatannya menjadi lebih tinggi lagi.

Nilai VIM dari kadar penambahan LDPE dan karet 2% - 10% tidak ada yang memenuhi spesifikasi umum bina marga 2018. Hal tersebut dikarenakan kadar plastik lebih dominan daripada kadar aspal dalam mempengaruhi rongga dalam campuran. Jika nilai VIM terlalu tinggi, maka campuran bersifat porus dan mudah terjadi oksidasi yang dapat mempercepat penuaan aspal dan menurunkan durabilitas campuran Nilai rongga dalam campuran yang kecil akan memberikan campuran yang kedap sehingga menyebabkan bleeding dan campuran rentan terhadap alur plastis *(rutting)*. Diperlukan campuran presentase karet yang lebih dominan atau presentase yang lebih tinggi agar nilai VIM terus menurun.

Hasil analisa *flow* yang memenuhi spesifikasi di kadar 6% dan 8% saja, dan angkanya mendekati batas atas. Disini bisa disimpulkan bahwa karet berperan penting dalam meningkatkan kelelehan agar aspal memiliki fleksibilitas yang tinggi, tidak mengganggu nilai stabilitas karena ada penambahan dari plastik LDPE sehingga memiliki deformasi yang baik. Secara keseluruhan, campuran aspal dengan penambahan LDPE dan

limbah Karet hampir memenuhi semua kriteria parameter Marshall adalah variasi plastik dengan kadar 6-8 %. Sehingga, kadar aspal optimum pada Laston Lapis Antara (AC-BC) dengan penambahan LDPE dan limbah karet adalah 6,28% dengan campuran LDPE dan limbah karetnya sebesar 8% dari total berat aspal.

4.8 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Adapun rencana anggaran biaya untuk aspal konvensional dan aspal plastik sebagai berikut :

a. Menghitung kebutuhan 1 m^3

Diketahui berat jenis campuran aspal sebesar 2,37 t/m^3. Maka kebutuhan 1 m^3 ialah 1 x 2,37 = 2,37 Ton. Jika di konversi ke kilogram ialah 2,37 ton x 1000 = 2370 Kg.

Table 4.42 Berat campuran per m3 non modif dan modif

Berat Campuran				2370 Kg	2370 Kg
KAO				5.78 %	5.78 %
% Plastik				0 %	8.0 %
Berat Plastik + karet				0 Kg	10 Kg
Berat Kadar Aspal				137 Kg	129 Kg
Berat Agregat :					
Kasar	(10 - 20) mm	:	12 %	268 Kg	268 Kg
Kasar	(10 - 10) mm	:	18 %	402 Kg	402 Kg
Medium	(5 - 10) mm	:	23 %	514 Kg	514 Kg
Halus	(0 - 5) mm	:	47 %	1050 Kg	1050 Kg
Filler	Lolos #200	:	%	0 Kg	0 Kg
Total				2370 Kg	2372 Kg

Dengan proporsi *jobmix* formula diatas di ketahui bahwa total berat campuran per m^3 adalah sebesar 2370 kg dengan persen kadar aspal 5.78% dengan penambahan 8 % plastik LDPE dan Rubber (IIR). Penentuan Harga dilakukan dengan mengacu pada harga satuan yang ada pada HSPK, berikut nilai harga satuan pada HSPK dilihat pad tabel 4.43 :

Table 4.43 Penentuan Harga satuan berdasarkan HSPK Surabaya 2019

Material	Koefisien	Harga Satuan	Harga
	[1]	[2]	[1] x [2]
Aspal	75.19	Rp 10,200	Rp 766,938
Agregat Kasar 10-20	0.2 44	Rp 227,700	Rp 55,559
Agregat Kasar 10-10	0.244	Rp 227,700	Rp 55,559
Agregat Kasar 5-10	0.2481	Rp 142,300	Rp 35,305
Agregat Kasar 0-5	0.1538	Rp 210,000	Rp 32,298
Filler	0.189	Rp 68,300	Rp 12,909

Berikut Rencana Anggaran biaya (RAB) yang diperlukan untuk membuat campuran per m^3 aspal konvensional, yang dapat dilihat pada tabel 4.45 :

Material	Berat (Kg)		Kebutuhan		Harga Satuan	Harga	
	Non Plastik	(+) Plastik	Non Plastik	(+) Plastik		Non Plastik	(+) Plastik
Aspal	137	129	0.06	0.05	Rp 766,938	Rp 44,329	Rp 41,740
Plastik	0	8	0.00	0.003	-		
Agregat Kasar 10-20	268	268	0.11	0.11	Rp 55,559	Rp 6,282	Rp 6,282
Agregat Kasar 10-10	402	402	0.17	0.17	Rp 55,559	Rp 9,423	Rp 9,423
Agregat Medium 5-10	514	514	0.22	0.22	Rp 35,305	Rp 7,651	Rp 7,651
Agregat Halus 0-5	1050	1050	0.44	0.44	Rp 32,298	Rp 14,303	Rp 14,303
Filler	0	0	0.00	0.00	Rp 12,909	Rp -	Rp -
Harga Total						Rp 81,987	Rp 79,398

Dengan proporsi *Jobmix* formula diatas di ketahui bahwa total Anggaran Biaya per m^3 campuran aspal konvensional dan dengan modif adalah sebesar Rp 81,987 dan Rp 79,398

Maka, didapat :

Harga Aspal per m^3 non Plastik	:Rp. 81,987 /m^3
Harga Aspal per m^3 dengan plastik & rubber	:Rp. 79,398 /m^3 -
Penghematan	:Rp. 2,589 /m^3

BAB V
KESIMPULAN & SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa dari hasil pengujian marshall benda uji KAO penambahan LDPE dan limbah karet ban dalam, serta tanpa penambahan LDPE dan limbah karetnya sudah cukup tergambar jelas bagaimana pengaruh dari karet maupun plastik terhadap parameter marshall hingga spesifikasi nya dibandingkan yang tidak ditambahkan bahan *additive*, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Penentuan Campuran Aspal Laston Lapis Antara (AC-BC) yang disiapkan untuk penambahan LDPE dan Karet menggunakan kadar aspal optimum (KAO) 6,28%.
2. Campuran aspal pada Campuran modifikasi *asphalt concrete binder course* dengan penambahan karet dan LDPE menggunakan metode basah *(wet process)* menghasilkan perbaikan terhadap karakteristik pada beberapa aspek, diantaranya adalah nilai VMA, VIM, dan Flow yang memiliki trend grafik dengan garis regresi menurun. Sedangkan nilai Density, VFA, dan Stabilitas memiliki nilai grafik yang meningkat. Dimana nilai Stabilitas meningkat signifikan mencapai 27% dari stabilitas campuran aspal konvensional. Untuk proporsi campuran yang paling optimum adalah KAO 6,28% dengan penambahan karet dan LDPE sebesar 8%.
3. Evaluasi campuran yang perlu disorot hanya nilai VIM, nilai VIM yang tinggi akibat dari nilai kepadatan yang rendah, dan hal ini ada kaitannya dengan proses pencampuran yang masih belum bisa dikatakan

homogen. Hal ini disebabkan suhu yang belum optimum ataupun dimensi bahan *additive* yang masih terlalu besar. Apabila masalah ini teratasi, maka penentuan proporsi campuran laston AC-BC bisa menemukan hasil yang paling optimum tanpa memiliki kekurangan di setiap parameter marshall yang ada. Untuk parameter marshall yang lain, semua memenuhi spesifikasi dan tidak memiliki kendala karena bahan *additive* karet dan plastik saling mengisi kekurangan satu sama lain, dan yang jelas lebih baik daripada hasil parameter benda uji KAO konvensional tanpa penambahan bahan *additive* tersebut.

4. Untuk analisa perbandingan harga benda uji aspal konvensional dan modifikasi per m^3 dapat disimpulkan bahwa harga benda uji modifikasi lebih hemat Rp. 2589,00- dibandingkan benda uji konvensional. Namun apabila dikerjakan dalam skala besar perlu di tinjau Kembali karena perlu dilakukan treatment dan metode-metode lainnya yang cukup banyak sehingga bisa diperkirakan lebih mahal daripada proses pengerjaan aspal konvensional namun kualitas aspal modifikasi lebih baik ditinjau dari parameter marshall.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya antara lain :

1. Melakukan penelitian lanjutan dengan menambahkan variasi plastik lebih dari 10% hingga didapatkan penurunan VIM yang masuk spesifikasi bina marga 2018
2. Melakukan penelitian lanjutan berupa pengujian karakteristik aspal yang sudah dicampur dengan limbah

plastik dan limbah karet. Serta memasukan AMDAL pada proses penelitian tersebut.

3. Penelitian lanjutan berupa penelitian dengan metode pencampuran menggunakan alat baik pencacahan karet maupun plastiknya agar didapatkan campuran metode basah yang benar-benar homogen untuk meningkatkan akurasi dari analisa hasil parameter density maupun void in mix.

DAFTAR PUSTAKA

Bustamin Abd. Razak dan Andi Erdiansa 2016, Karakteristik Campuran AC-WC dengan Penambahan Limbah Plastik Low Density Polyethylene (LDPE)

Erdiansa, B. A. R. d. A., 2016. Karakteristik Campuran AC-WC dengan Penambahan Limbah Plastik Low Density Polyethylene(LDPE)..

Hoegh-Guldberg, O. ., Cai, R. ., Poloczanska, E. S. ., Brewer, P. G. ., Sundby, S. ., Hilmi, K. ., … Jung, S. . (2015). The ocean. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part B: Regional Aspects: Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, (January), 1655–1734.

PU Bina Marga, 2018. *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.* Jakarta: Bina Marga.

Purnamasari, E. & Suryaman, F., 2010. *Pengaruh Penggunaan Limbah Botol Plastik Sebagai Bahan Tambah Terhadap Karakteristik Lapis Aspal Beton (LASTON).* Sanur-Bali, s.n.

Rahmawati, A., Rosyada, M. A. & Nega, P., 2015. *Perbandingan Pengaruh Penambahan Plastik High Density Polyetilene (HDPE) dalam Laston-Wc dan Lataston-Wc Terhadap Karakteristik Marshall.* s.l., s.n.

Roberts, F. L., 1991. *Hot Mix Asphalt Materials, Mixtures Design and Construction.* Lanham, Maryland: Napa Education Foundation.

Suherman Sulaiman , Retno Utami , Nindya Putri Yulianti. Karakteristik Asphalt Concrete Wearing Course akibat penambahan Karet Alam Padat SIR20 dengan Metode Eksperimenta

Sukirman, 2003. *Beton Aspal Campuran Panas.* Bandung: Granit.

Suroso, T. W., 2008. Pengaruh Penambahan Plastik LDPE (Low Density PolyEthilane) Cara Basah dan Cara Kering Terhadap Kinerja Campuran Beraspal.

Tiara Kusuma Rini , Wahyudi Pratama , Anis Amarwati PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH KARET BAN TERHADAP KUAT TEKAN MARSHALL PADA CAMPURAN BETON ASPAL

Yassir Abo Almaali, Evaluation the EFFECT OF WASTE LO-DENSITY POLYTHLENE AND CRUMBRUBBER ON PHSICAL PROPERTIES OF ASPHALT

“halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

1165

10740

Pioneer
102.272

AKK1
6,28

No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan	Keterangan
1	Senin, 3 Februari 2020	Membersihkan dan mengeringkan tiap fraksi agregat dengan cara digoreng	
2	Kamis, 6 Februari 2020	Menggoreng dan mengayak Fraksi Untuk Menentukan Analisa Saringan	
3	12 Februari 2020	Melakukan Pengujian karakteristik Agregat	
4	19 Februari 2020	Melakukan Pengujian karakteristik Agregat	
5	Selasa, 25 Februari 2020	Melakukan Pengujian Aspal : 1. Kehilangan Berat 2. Berat Jenis Aspal 2. Penetrasi	

No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan	Keterangan
6	Senin, 2 Maret 2020	Melakukan Pengujian Aspal (Daktilitas, dan Titik Lembek)	
7	Jumat, 6 Maret 2020	Pengolahan Data hasil Pengujian Karakteristik Agregat dan Aspal	
8	Senin, 9 Maret 2020	Persiapan Agregat Per-Saringan	
9	Senin, 30 Maret 2020	Penimbangan Agregat	
10	Senin, 6 April 2020	Pembuatan Benda Uji Knvensional	

No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan	Keterangan
11	Jumat, 17 April 2020	Pengujian Marshall	
12	Senin, 20 April 2020	Pengolahan Data	
13	Rabu, 29 April 2020	Asistensi Bersama Via zoom	
14	Senin, 4 Mei 2020	Pembuatan Benda Uji Perbaikan	
15	Senin, 18 Mei 2020	Pengujian Marshall	

No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan	Keterangan
16	Selasa, 26 Mei 2020	Pengolahan Data Hasil Pengujian Aspal Konvensional	
17	Senin, 22 Juni 2020	Membuat benda uji ulang KAO 6,28%	
18	Kamis, 25 Juni 2020	Pengujian Marshall Benda uji KAO 6,28%	
19	Senin, 29 Juni 2020	Pengujian karakteristik aspal modifikasi	
20	Rabu, 1 Juli 2020	Penimbangan Benda Uji Modifikasi	

No	Tanggal Kegiatan	Jenis Kegiatan	Keterangan
211	Kamis 2 Juli	Pembuatan Benda Uji Modifikasi	
22	Selasa, 7 Juli 2020	Pengujian Marshall Modifikasi	

BIODATA PENULIS

Penulis bernama lengkap Muhammad Aditya Kusuma, dilahirkan di Magetan pada tanggal 13 Juli 1998. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh Pendidikan formal di TK Antrasita dan Sekolah Dasar di SD Negeri 10 Tanjung Enim, Sumatera Selatan. Penulis melanjutkan ke jenjang Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Lawang Kidul, Sumatera Selatan, dan melanjutkan jenjang Pendidikan di SMA Negeri 1 Magetan. Pada tahun 2016 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif di berbagai kegiatan organisasi di luar maupun di dalam kampus, diantaranya terdaftar sebagai kadep internal forum mahasiswa dan alumni mahasiswa (FMAM) Magetan 2017/2018. Penulis juga aktif dalam himpunan mahasiswa diploma sipil (HMDS ITS) sebagai Kadep Media dan Informasi. Selain itu penulis juga pernah mengikuti kerja praktek di PT. Waskita Karya (Persero) Tbk, di Proyek pembangunan jalan tol Cibitung-Cilincing Section 1. Jika ada keperluan terkait penelitian ini, penulis dapat menghubungi melalui email *Muhammadadityakusuma@gmail.com*