



PROYEK AKHIR – VC191845

PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK *LOW-DENSITY POLYETHYLENE (LDPE)* DAN *ISOBUTYLENE – ISOPRENE RUBBER* (KARET BAN DALAM) PADA CAMPURAN *HOT ROLLED SHEET – WEARING COURSE (HRS – WC)* SEBAGAI PENGEMBANGAN INOVASI *GREEN ENVIRONMENT MATERIAL*

MAHASISWA
MOCH. DIKRIMASRO RAMADHAN ALWAFI
NRP. 10111610013025

DOSEN PEMBIMBING
AMALIA FIRDAUS MAWARDI, S.T.,M.T
NIP. 19770218 200501 2 002

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



PROYEK AKHIR – VC191845

PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK *LOW-DENSITY POLYETHILENE (LDPE)* DAN *ISOBUTHYLENE - ISOPRENE RUBBER* (KARET BAN DALAM) PADA CAMPURAN *HOT ROLLED SHEET* – WEARING COURSE (HRS – WC) SEBAGAI PENGEMBANGAN INOVASI *GREEN ENVIRONMENT MATERIAL*

MAHASISWA

MOCH. DIKRIMASRO RAMADHAN ALWAFI

NRP. 10111610013025

DOSEN PEMBIMBING

AMALIA FIRDAUS MAWARDI, S.T.,M.T

NIP. 19770218 200501 2 002

PROGRAM SARJANA TERAPAN

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

FAKULTAS VOKASI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA 2019



APPLIED FINAL PROJECT PROPOSAL – VC191845

UTILIZATION OF PLASTIC WASTE LOW DENSITY POLYETHYLENE (LDPE) AND RUBBER WASTE ISOBUTYLENE – ISOPRENE RUBBER (IIR) ON HOT ROLLED SHEET – WEARING COURSE (HRS-WC) AS GREEN ENVIRONMENT MATERIAL INNOVATION DEVELOPMENT.

MAHASISWA
MOCH. DIKRIMASRO RAMADHAN ALWAFI
NRP. 10111610013025

SUPERVISOR
AMALIA FIRDAUS MAWARDI, S.T.,M.T
NIP. 19770218 200501 2 002

BACHELOR OF APPLIED SCIENCE PROGRAM
CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF VOCATIONAL STUDIES
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019

LEMBAR PENGESAHAN

PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK LOW-DENSITY POLYETHILENE (LDPE) DAN ISOBUTYLENE – ISOPRENE RUBBER (KARET BAN DALAM) PADA CAMPURAN HOT ROLLED SHEET – WEARING COURSE (HRS – WC) SEBAGAI PENGEMBANGAN INOVASI GREEN ENVIRONMENT MATERIAL

PROYEK AKHIR TERAPAN

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Terapan Teknik
Pada

Program Studi Diploma IV
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 08 Agustus 2020

Disusun Oleh:

MOCH. DIKRIMASRO RAMADHAN ALWAFI

NRP. 10111610013025

Disetujui oleh

Oleh pembimbing sarjana terapan :

AMALIA FIRDAUS MAWARDI, S.T., M.T

DEPARTEMEN 19770218 200501 2 002
TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL



PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK *LOW-DENSITY POLYETHILENE (LDPE)* DAN *ISOBUTHYLENE – ISOPRENE RUBBER* (KARET BAN DALAM) PADA CAMPURAN *HOT ROLLED SHEET – WEARING COURSE* (HRS – WC) SEBAGAI PENGEMBANGAN INOVASI *GREEN ENVIRONMENT MATERIAL*

Nama Mahasiswa : Moch. Dikrimasro Ramadhan
Alwafi

NRP : 10111610013025

Jurusan : Diploma IV Departemen
Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi – ITS

Dosen Pembimbing : Amalia Firdaus Mawardi, S.T.,M.T

NIP : 19770218 200501 2 002

ABSTRAK

Dalam mengatasi permasalahan pembangunan jalan banyak penelitian dan inovasi-inovasi baru ditemukan terutama pada campuran aspal, sehingga campuran aspal modifikasi dengan bahan tambahan yaitu plastik LDPE dan Isobuthylene – Isoprene Rubber (IIR/karet ban dalam) diteliti untuk inovasi lebih lanjut. Hal ini juga bertujuan untuk mengurangi limbah plastik dan karet sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan. Lalu penelitian ini diharapkan dapat mengurangi bahan baku aspal yang semakin mahal

Didalam penelitian aspal modifikasi LDPE dan IIR ini, menggunakan syarat-syarat yang berlaku dalam Peraturan

Umum Bina Marga 2018 untuk setiap bahan yang digunakan. Lalu pengujian yang dilakukan sesuai dengan standar pengujian aspal yaitu tes Marshall. Didalam pencampuran aspal dengan LDPE dan IIR digunakan metode basah, yaitu dengan cara mencampurkan zat tambahan saat pemanasan bitumen.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa campuran aspal HRS-WC dengan kadar aspal optimum sebesar 7,2% yang mengandung IIR dan LDPE sebesar 2% dengan perbandingan 1:1 menunukan performa yang memenuhi sebagian besar spesifikasi menurut Peraturan Umum Bina Marga 2018 tabel 6.3.3. Pada campuran ini tidak memenuhi nilai VIM dengan jumlah volume 6,23% melebihi nilai VIM dari parameter spesifikasi sebesar 6%. Dan berdasarkan hasil pengujian karakteristik aspal modifikasi menghasilkan karakter aspal yang tahan terhadap suhu lingkungan yang tinggi namun menurunkan nilai penetrasi asap modifikasi. Sehingga aspal yang dimodifikasi ini memiliki sifat yang getas apabila diterapkan di lingkungan dengan suhu rendah berdasarkan suhu pengujian penetrasi sebesar $\geq 25^{\circ}\text{C}$. Pada penelitian ini juga diperhitungkan terkait perbandingan harga material dimana penambahan zat aditif 10% dapat mengurangi harga material sebesar 4,89%.

Kata Kunci : Penelitian, Aspal Modifikasi, durabilitas dan Stabilitas Aspal

ABSTRACT

To carry on the problem of road construction which is use asphalt binder many innovation and researches has did, so the research that uses asphalt modification by low density polyethilene (LDPE) and isobuthylene-isoprene rubber (IIR) to know what the effect. In that case to handle environment problem and expensetivity material of asphalt.

In this research of asphjhalt modification by LDPE and IIR, was followed the spesification of "Peraturan Umum Bina Marga 2018". And Marshall test used to be standart of parameter test. To mixed the additive material was used wet methode, which is mixed the additive when heating the bitumen.

As the result shows that asphalt binder HRS-WC with optimum asphalt content 7,2% with contained 2% additive material is satisfied the spesification of "Peraturan Umum Bina Marga 2018" tabel 6.3.3. But in this percentage is not satisfy of VIM value whice have 6,23% VIM value, so that contained VIM value more than spesification which is 6%. And from the perfomed of characteristic bitumen is shows that this bitumen modification is resistance with high temperature. With the result that the asphalt modified has a brittle if it is uses at the places which have temperature lower than 25^oC. In this research has calculate about ratio of materials price which is that added 10% additive can reduce the materials price value by 4,89%.

Keyword : Research, Asphalt modification, Durability and stability of asphalt

KATA PENGANTAR

Puji syukur peneliti yang telah diberikan Karunia dan rahmat oleh Allah SWT yang maha pemberi jalan, sehingga peneliti mampu menyelesaikan proposal tugas akhir berjudul “Pemanfaatan Limbah Plastik *Low-Density Polyethylene (LDPE)* dan *Isobutylene – Isoprene Rubber* (Karet Ban Dalam) Pada Campuran *Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS – WC)* Sebagai Pengembangan Inovasi *Green Environment Material*” dengan tepat waktu. Tak lupa peneliti ucapan terima kasih sebagai bentuk rasa syukur karena telah mendapat bimbingan serta dukungan, maka pada kesempatan kali ini peneliti mengucapkan terima kasih kepada :

1. Seluruh dosen yang telah mengantarkan dan membimbing hingga peneliti dapat menulis proposal ini.
2. Seluruh orang yang telah mendoakan.
3. Dan alam yang mendukung peneliti.

Dalam penulisan proposal tugas akhir ini terdapat kesadaran atas kekurangan didalamnya, maka peneliti mengharapkan kritik dan saran sehingga dapat menjadi lebih baik. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak.

Surabaya, 5 Agustus 2020

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK.....	iv
KATA PENGANTAR	vii
DAFTRA ISI.....	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 PENGERTIAN LATASTON (Hot Roller Sheet)	7
2.2 AGREGAT	9
2.2.1 Agregat kasar	9
2.2.2 Agregat halus	10
2.3 Aspal	12
2.3.1 Aspal Konvesnional	12
2.3.2 Aspal Modifikasi.....	13
2.3.3 Perencanaan Kadar Aspal	14
2.3.4 Low Density PolyEthilane (LDPE).....	15
2.5 Isobutylene – Isoprene Rubber (Karet Ban Dalam).....	16

2.6 Pengujian Marshall	17
2.7 Parameter Pengujian Marshall	17
2.7.1 Density	17
2.7.2 Rongga dalam Campuran/ Void In Mix (VIM)	18
2.7.3 Rongga dalam Agregat / Void In Mineral Aggregate (VMA)	19
2.7.4 Rongga Terisi Campuran Beraspal / Void In Filled With Asphalt (VFA)	20
2.7.5 Stabilitas Marshall	21
2.7.6 Kelelahan (Flow)	22
2.7.7 Marshall Qoutient	22
2.8. Penelitian Sebelumnya	22
BAB III	25
METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.2 Proses Pencampuran	26
3.3 Lokasi Penelitian	26
3.4 Persiapan Alat dan Bahan	26
3.5 Pengujian Material	28
3.6 Pencampuran limbah Plastik dan Ban dalam	28
3.7 Pembuatan Benda Uji Campuran Aspal.....	29
BAB IV	31
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Hasil Pengujian Material.....	31

4.2 Agregat.....	31
4.2.1 Analisa Saringan Agregat	31
4.2.2 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat.....	34
4.2.3 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	38
4.3 Perencanaan Proporsi Agregat Gabungan.....	46
4.4 Perencanaan Pembuatan Benda Uji	48
4.4.1 Perhitungan Kadar Aspal Rencana	49
4.4.2 Perhitungan Komposisi Berat Material.....	52
4.5 Pengujian Benda Uji	55
4.5.1 Pengujian Marshall Benda Aspal Konvensional.....	55
4.5.2 Pengujian Marshall Benda Uji Aspal Modifikasi	74
4.6 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya	101
4.7 Perbandingan Harga Material	104
BAB V	107
KESIMPULAN DAN SARAN.....	107
5.1 KESIMPULAN.....	107
5.2 Saran	108
DAFTAR PUSTAKA	109
BIODATA PENULIS	113
LAMPIRAN.....	115

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Lapisan Lataston (HRS).....	5
Gambar 2.2.1.1 Agregat 5-10mm (kiri), Agregat 10-10mm (kanan)	8
Gambar 2.2.1.1 Agregat 0-5mm	8
Gambar 2.2 Struktur Cabang Material Low Density Polyethylane.....	13
Gambar 2. 3 Limbah Plastik Low Density Polyethylane dan Penomoran LDPE	13
Gambar 2.4 Limbah ban dalam isobutylene isoprene rubber	14
Gambar 3.1 Diagram alir pelaksnaan penelitian.....	23
Gambar 3.2 Diagram alir pembuatan benda uji	24
Gambar 4.2.3.1 Grafik berat jenis aspal modifikasi.....	37
Gambar 4.2.3.2 Grafik penetrasi aspal modifikasi.....	38
Gambar 4.2.3.3 Grafik penetrasi aspal modifikasi (literatur)	38
Gambar 4.2.3.4 Grafik kehilangan berat aspal modifikasi....	39
Gambar 4.2.3.5 Grafik titik lembek aspal modifikasi.....	40
Gambar 4.2.3.6 Grafik titik lembek aspal modifikasi (literatur)	40
Gambar 4.2.3.7 Grafik titik nyala aspal modifikasi	41
Gambar 4.2.3.8 Grafik Daktilitas aspal modifikasi.....	42

Gambar 5.3.1 Grafik Gabungan 3 Fraksi	45
Gambar 4.5.1 Grafik density benda uji aspal konvensional..	54
Gambar 4.5.1.1 grafik stabilitas aspal konvensional.....	57
Gambar 4.5.1.2 grafik nilai flow aspal konvensional	59
Gambar 4.5.1.3 Grafik Marshall Quotien kadar aspal rencana	61
Gambar 4.5.1.4 Grafik rekapitulasi nilai VMA aspal konvensional	64
Gambar 4.5.1.5 Grafik nilai VIM aspal konvensonal	66
Gambar 4.5.1.6 Grafik nlai VFB aspal konvensional	69
Gambar 4.5.2.1 Penentuan KAO	70
Gambar 4.5.2.2 Grafik density aspal modifikasi.....	76
Gambar 4.5.2.3 Grafik density aspal karet.....	76
Gambar 4.5.2.4 Grafik nilai stabilitas aspal modifikasi.....	79
Gambar 4.5.2.5 nilai stabilitas Aspal LDPE	80
Gambar 4.5.2.6 nilai stabilitas Aspal Karet	80
Gambar 4.5.2.7 Grafik nilai flow aspal modifikasi.....	82
Gambar 4.5.2.8 Grafik niali flow aspal LDPE.....	82
Gambar 4.5.2.9 Grafik nilai flow aspal karet.....	82
Gambar 4.5.2.10 Grafik nilai marshall quotient aspal modifikasi	85
Gambar 4.5.2.11 Grafik nilai marshall quotient aspal LDPE	85

Gambar 4.5.2.12 Grafik nilai marshall quotient aspal karet .	86
Gambar 4.5.2.13 Grafik nilai VMA aspal modifikasi.....	88
Gambar 4.5.2.14 Grafik nilai VMA aspal karet.....	88
Gambar 4.5.2.15 Grafik nilai VIM aspal modifikasi	90
Gambar 4.5.2.16 Grafik nilai VIM aspal karet.	91
Gambar 4.5.2.16 Grafik nilai VFB aspal modifikasi	93
Gambar 4.5.2.17 Grafik nilai VFB aspal karet	93

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ketentuan Sifat – sifat Campuran Peraturan Umum Bina Marga 2018 tabel 6.3.3.1b.....	6
Tabel 2. 3 Spesifikasi Gradasi Agregat Gabungan Pasal 6.3.2. PU Bina Marga 2018	9
Tabel 2. 3. 1 Spesifikasi bahan aspal pasal 6.3.2. PU Bina Marga 2018	10
Tabel 2.3.2 Spesifikasi Bahan Aspal Pasal 6.2.2 PU Bina Marga 2018	12
Tabel 4.1 Berat per saringan untuk agregat 10-10mm.....	30
Tabel 4.2 Berat per saringan untuk agregat 5-10mm.....	31
Tabel 4.3 Berat per saringan untuk agregat 0-5mm.....	32
Tabel 4.4 Berat uji agregat 10-10mm	33
Tabel 4.5 Berat uji agregat 5-10mm	34
Tabel 4.6 Berat uji agregat 5-10mm	35
Tabel 4.7 Uji Berat Jenis Aspal	37
Tabel 4.8 Uji Penetrasi Aspal	37
Tabel 4.9 Uji Kehilangan Berat Aspal	39
Tabel 4.10 Uji Titik Lembek Aspal	40
Tabel 4.11 Uji Titik Nyala Aspal.....	41
Tabel 4.12 Uji Daktilitas Aspal	42
Tabel 4.13 Rekapitulasi Jumlah Agregat Lolos Saringan.....	43

Tabel 4.14 Perhitungan Proporsi Agregat dengan metode trial and error	44
Tabel 4.15 Nilai Fraksi	45
Tabel 4.16 Komposisi Berat untuk variasi kadar aspal 5,7% ..	50
Tabel 4.17 Komposisi Berat untuk variasi kadar aspal 6,2% ..	50
Tabel 4.18 Komposisi Berat untuk variasi kadar aspal 6,7% ..	51
Tabel 4.19 Komposisi Berat untuk variasi kadar aspal 7,2% ..	51
Tabel 4.20 Komposisi Berat untuk variasi kadar aspal 7,7% ..	51
Tabel 4.21 Nilai density kadar aspal 5,7%	53
Tabel 4.22 Nilai density kadar aspal 6,2%	53
Tabel 4.23 Nilai density kadar aspal 6,7%	53
Tabel 4.24 Nilai density kadar aspal 7,2%	54
Tabel 4.25 Nilai density kadar aspal 7,7%	54
Tabel 4.26 Nilai Stabilitas (kg) kadar aspal rencana 5,7% ...	55
Tabel 4.27 Nilai Stabilitas (kg) kadar aspal rencana 6,2% ...	56
Tabel 4.28 Nilai Stabilitas (kg) kadar aspal rencana 6,7% ...	56
Tabel 4.29 Nilai Stabilitas (kg) kadar aspal rencana 7,2% ...	56
Tabel 4.30 Nilai Stabilitas (kg) kadar aspal rencana 7,7% ...	57
Tabel 4.31 rekapitulasi nilai flow	58
Tabel 4.32 Rekapitulasi nilai Marshall Quotient	60
Tabel 4.33 Rekapitulasi nilai VMA aspal konvensional.....	63

Tabel 4.34 Rekapitulasi nilai VIM aspal konvensional	66
Tabel 4.35 Rekapitulasi nilai VFB aspal konvensional	68
Tabel 4.36 Komposisi aspal modifikasi 2%	71
Tabel 4.37 Komposisi aspal modifikasi 4%	71
Tabel 4.38 Komposisi aspal modifikasi 6%	72
Tabel 4.39 Komposisi aspal modifikasi 8%	73
Tabel 4.40 Komposisi aspal modifikasi 10%	73
Tabel 4.41 Nilai density aspal modifikasi 2%	74
Tabel 4.42 Nilai density aspal modifikasi 4%	75
Tabel 4.43 Nilai density aspal modifikasi 6%	75
Tabel 4.44 Nilai density aspal modifikasi 8%	75
Tabel 4.45 Nilai density aspal modifikasi 10%	76
Tabel 4.46 Rekapitulasi nilai stabilitas aspal modifikasi	78
Tabel 4.47 rekapitulasi nilai flow aspal modifikasi	81
Tabel 4.48 Rekapitulasi nilai marshall quotient aspal modifikasi	84
Tabel 4.49 Rekapitulasi nilai VMA aspal modifikasi	87
Tabel 4.50 Rekapitulasi perhitungan VIM aspal modifikasi	89
Tabel 4.51 Rekapitulasi nilai VFB aspal modifikasi	92
Tabel 4.52 Rekapitulasi hasil penelitian sendiri	95
Tabel 4.53 Rekapitulasi hasil penelitian aspal modifikasi karet	95

Tabel 4.54 Rekapitulasi hasil penelitian aspal modifikasi LDPE	96
Tabel 4.55 Daftar harga material yang dipakai.....	98
Tabel 4.56 Rekapitulasi harga benda uji kovensional.....	99
Tabel 4.57 Rekapitulasi harga benda uji modifikasi	99
Tabel 4.58 Perbandingan harga benda uji	99

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era saat ini pembangunan infrastruktur jalan semakin banyak dan berkembang, baik dalam material yang digunakan maupun metode pelaksanaannya. Didalam perkembangannya ada beberapa nilai yang diutamakan, yaitu efisiensi dan keramahan terhadap lingkungan. Sehingga kedepannya pembangunan infrastruktur dapat dilakukan secepat mungkin tanpa menimbulkan permasalahan terkait resiko pembangunan dan ancaman terhadap lingkungan.

Namun, diluar perkembangan yang terjadi di infrastruktur ternyata didapati permasalahan-permasalahan yang dapat dikatakan kompleks. Dimulai dari permasalahan sosial maupun permasalahan lingkungan. Saat ini, permasalahan lingkungan sangat ramai diperbincangkan sebab tingginya penggunaan bahan anorganik terutama plastik maupun karet, hal ini tidak diimbangi dengan pengolahan limbah yang efisien. Dari satu permalahan yang diulas sebelumnya, ternyata memiliki dampak negatif untuk kesehatan dan kelestarian lingkungan. Hal tersebut dapat mengancam keberlangsungan umat manusia maupun makhluk hidup lain.

Dari hasil riset yang dilakukan oleh tim riset CNBC Indonesia^[1], Indonesia mendapati produksi sampah plastik sekitar 1.29 juta ton per tahun. Dan angka ini terus meningkat, pada kuartal-1 2019 pertumbuhan sampah plastik mencapai 24.2%. Selain itu, menurut Gowest.id data limbah karet di indonesia menunjukan angka 11 ton pada tahun 2006 dan terus meningkat setiap tahun. Apabila hal tersebut terjadi maka lambat laun Indonesia akan mengalami berbagai permasalahan

seperti kesehatan, kerusakan lingkungan maupun kerusakan lingkungan yang serius.

Saat ini, banyak peneliti berlomba-lomba untuk berinovasi bagaimana cara mengola limbah plastik dan karet untuk mengurangi pencemaran lingkungan termasuk para peneliti atau pengembang di dunia teknik sipil. Sebagai contoh, pemanfaatan *styrofoam* untuk beton ringan lalu pemanfaatan limbah plastik untuk aspal. Hal tersebut menunjukkan keseriusan para pengembang di dunia teknik sipil untuk menghadapi permasalahan lingkungan.

Sekitar pertengahan tahun 2019, mahasiswa ITS berhasil mempublikasikan penelitiannya terkait pemanfaatan limbah plastik (LDPE) sebagai bahan campuran untuk membuat aspal. Pada generasi sebelumnya telah banyak penelitian terkait penggunaan karet untuk pembuatan aspal. Sehingga hal tersebut direalisasikan oleh pemerintahan provinsi Bali dalam pembangunan Jalan Tol menggunakan Aspal karet di Tanjung Benoa, Bali. Dapat disimpulkan bahwa kedepan pembangunan infrastruktur memiliki jalur alternatif dalam penggunaan material dasarnya. Sehingga dapat meminimalisir penggunaan sumber daya alam terbatas yang kian hari makin menipis dan juga mengurangi penggunaan material yang semakin mahal pula

Dari yang sudah dipaparkan sebelumnya, peneliti terinspirasi untuk melanjutkan penelitian ini dimana limbah plastik LDPE dan karet ban dalam atau *Isobutylene – Isoprene Rubber* (IIR) sebagai bahan campuran aspal. Dari hasil penelitian yang sudah ada sebelumnya diketahui bahwa padatan dari lelehan plastik memiliki kepadatan yang tinggi namun getas dan padatan dari lelehan ban dalam memiliki kepadatan yang rendah namun elastis. Hal tersebut menjadi alasan peneliti untuk menguji elastisitas aspal menggunakan campuran plastik LDPE dan Ban dalam.

Jika ditinjau dari segi unsur kimiawi, plastik LDPE dan Ban dalam (*tube*) memiliki struktur dasar yang sama yaitu struktur *hydrocarbon polimer*. Dimana struktur tersebut terdiri dari karbon (C) dan hidrogen (H). Untuk plastik LDPE tergolong dalam ikatan *polyethylene* lalu untuk karet IIR memiliki bahan dasar karet alam tergolong dalam ikatan *isoprene*. Sejak tahun 1980 pemanfaatan aspal di Indonesia telah mengembangkan aspal Lapisan Tipis Aspal Beton (Lataston) atau *Hot Rolled Sheet* (HRS). Campuran aspal ini dipercaya memiliki keawetan dalam menghadapi lalu lintas berat. Sehingga dalam aplikasinya, pencampuran plastik LDPE dan *Rubber Inner Tube* diharapkan dapat memperbaiki kinerja dari aspal dengan cara menggunakan tes marshal untuk mencari nilai stabilitas, kelelahan, serta kepadatan (*density*) dan pori yang terkandung atau *Void in Mixture* (VIM)

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana komposisi kadar aspal optimum aspal HRS-WC?
2. Bagaimana komposisi optimum dari aspal HRS-WC dengan tambahan plastik LDPE dan IIR yang sesuai dengan standar?
3. Bagaimana hasil analisis dari setiap komposisi aspal campuran dengan menggunakan metode basah?
4. Bagaimana perbandingan anggaran material antara konvensional dan modifikasi?

1.3 Batasan Masalah

1. Jenis aspal yang digunakan ialah aspal lapisan aus (HRS-WC).
2. Kadar aspal optimum (KAO) didapat dari percobaan laboratorium.

3. Jenis bahan campuran yang dipakai ialah plastik LDPE (kantong plastik) dan Karet IIR (karet ban dalam).
4. Kadar penambahan plastic dengan variasi 0%; 2%; 4%; 6%; 8%; 10% dari berat kadar aspal optimum (KAO).
5. Variasi kadar aspal aspal (KAO) dari berat agregat sesuai dengan hasil penelitian.
6. Tidak membahas kandungan unsur kimia yang terkadung dalam bahan-bahan penelitian dan reaksi kimia yang terjadi pada campuran akibat penggunaan plastik dan aspal.
7. Metode yang digunakan ialah metode basah.

1.4 Tujuan

1. Mengetahui kadar aspal optimum aspal untuk campuran aspal HRS-WC.
2. Mengetahui komposisi optimum campuran antara aspal dengan plastik dan ban dalam.
3. Mengetahui hasil analisis dan evaluasi dari pengujian campuran aspal HRS-WC dengan plastik dan ban karet menggunakan metode basah.
4. Mengetahui perbandingan anggaran material antara konvensional dan modifikasi

1.5 Manfaat

1. Memberikan wawasan kepada pembaca manfaat daur ulang limbah plastik dan ban di bidang infrastruktur jalan.
2. Penggunaan sumber daya alam terbatas dapat dipakai untuk hal lainnya yang lebih bermanfaat.
3. Resiko dari pencemaran yang disebabkan oleh plastik dan karet dapat berkurang.

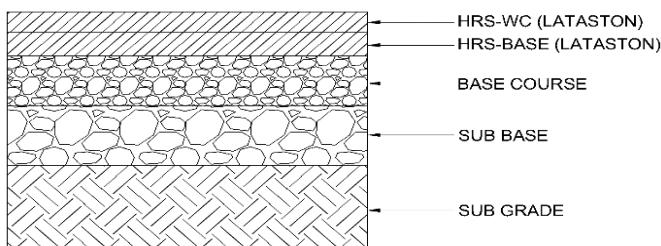
4. Dari berkurangnya resiko pencemaran kedepannya lingkungan akan lebih sehat.
5. Dapat mengurangi upaya untuk perbaikan jalan.
6. Dapat mengurangi biaya untuk perbaikan jalan.
7. Dapat menambah usia keawetan aspal jalan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PENGERTIAN LATASTON (*Hot Roller Sheet*)

Lataston atau *Hot Rolled Sheet* adalah campuran aspal yang bersifat daya serap tinggi terhadap aspal karena memiliki gradasi senjang, dimana kandungan agregat ukuran sedang sangat sedikit. Menurut Kementerian Pekerjaan Umum (Bina Marga 2010 Revisi 3) Lataston memiliki ketebalan 25-30 mm.



Gambar 2.1 Struktur Lapisan Lataston (HRS)

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

- a. Aspal yang cukup untuk menjamin keawetan perkerasan.
- b. Stabilitas campuran yang cukup untuk memenuhi kebutuhan lalu lintas tanpa terjadi kerusakan atau penurunan.
- c. Rongga yang cukup didalam total campuran yang telah dipadatkan untuk menyediakan sedikit penambahan pemanjangan oleh beban lalu lintas dan untuk menyediakan sedikit ruang pemekaran aspal akibat kenaikan suhu tanpa terjadi pembilasan, bleeding dan kehilangan stabilitas.
- d. Membatasi kadar rongga untuk membatasi permeabilitas bahan terhadap masuknya udara dan

- kelembaban yang sangat berbahaya kedalam perkerasan.
- e. Kemudahan pengerjaan yang cukup untuk memberikan kemudahan dan efisiensi didalam penghamparan tanpa terjadi segresi dan tanpa mengorbankan stabilitas dan performanya.
 - f. Untuk campuran lapis permukaan, agregat harus memiliki tekstur permukaan dan kekerasan untuk menyediakan tahan gesek yang cukup pada kondisi cuaca buruk.

Pada Lataston atau yang telah disebutkan didalam Peraturan Umum Bina Marga 2018 *Hot Rolled Sheet* memiliki ketentuan-ketentuan untuk sifat campuran aspal yang telah tertulis pada tabel 6.3.3. 1b

Tabel 2.1 Ketentuan Sifat – sifat Campuran Peraturan Umum Bina Marga 2018 tabel 6.3.3.1b

Sifat-sifat Campuran		Lataston	
		Lapis Aus (WC)	Lapis Fondasi (Base)
Kadar Aspal Efektif (%)	Min	5.9	5.5
Jumlah tumbukan per bidang		50	
Rongga dalam campuran (%)	Min	4.0	
	Maks	6.0	
rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min	18	17
Rongga terisis aspal (%)	Min	68	
Stabilitas Marshall (kg)	Min	600	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	250	
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman 24 jam 60°C	Min	90	

2.2 AGREGAT

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

2.2.1 Agregat kasar

Agregat kasar yaitu batuan yang tertahan saringan no.8 (2,36 mm), menurut standart ASTM atau tertahan pada saringan no.7, menurut Standart British. Fungsi agregat kasar dalam campuran Hot Rolled Sheet (HRS) adalah untuk mengembangkan volume mortar, dengan demikian membuat campuran lebih ekonomis dan meningkatkan ketahanan terhadap kelelahan.



Gambar 2.2.1.1 Agregat 5-10mm (kiri), Agregat 10-10mm (kanan)

2.2.2 Agregat halus



Gambar 2.2.1.1 Agregat 0-5mm

Agregat halus dapat berupa pasir, batu pecah atau kombinasi dari keduanya. Agregat halus adalah material yang pada prinsipnya lewat saringan 2.36 mm dan tertahan pada saringan $75 \mu\text{m}$ atau saringan no. 200. Fungsi utama agregat halus adalah mendukung stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari campuran melalui ikatan (interlocking) dan gesekan antar partikel. Berkenaan dengan hal ini, sifat-sifat khas yang diperlukan dari agregat adalah sudut permukaan, kekasaran permukaan, bersih dan bukan bahan organik. Dalam konstruksi Hot Rolled Sheet (HRS) komposisi agregat halus merupakan bagian yang terbesar sehingga sangat mempengaruhi kinerja pada saat masa konstruksi maupun pada masa pelayanan.

Sesuai dengan yang disebutkan Spesifikasi Gradasi Agregat Gabungan tercantum pada Peraturan Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 Pasal 6.3.2. dan untuk syarat agregat penutup tercantum pada Peraturan Umum Bina Marga 2018 Pasal 4.2.2. penggunaan agregat pada Lataston tergolong dalam tipe 1.

Tabel 2. 3 Spesifikasi Gradasi Agregat Gabungan Pasal 6.3.2. PU Bina Marga 2018

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos Terhadap Total Agregat dalam Campuran								
	Latasir (SS)		Lataston (HRS)				Laston (AC)		
			Gradasi Senjang		Gradasi Semi Senjang				
	Kelas A	Kelas B	WC	Base	WC	Base	WC	BC	Base
37,5									100
25								100	90-100
19	100	100	100	100	100	100	100	90-100	76-90
12,5			90-100	90-100	87-100	90-100	90-100	75-90	60-78
9,5	90-100		75-85	65-90	55-88	55-70	77-90	66-82	52-71
4,75							53-69	46-64	35-54
2,36		75-100	50-72	35-55	50-62	32-44	33-53	30-49	23-41
1,18							21-40	18-38	13-30
0,600			35-60	15-35	20-45	15-35	14-30	12-28	10-22
0,300					15-35	5-35	9-22	7-20	6-15

0,150							6-15	5-13	4-10
0,075	10-15	8-13	6-10	2-9	6-10	4-8	4-9	4-8	3-7

2.3 Aspal

2.3.1 Aspal Konvesnional

Aspal ialah bahan hidro karbon yang bersifat melekat (*adhesive*), berwarna hitam kecoklatan, tahan terhadap air, dan visoelastis. Aspal sering juga disebut bitumen merupakan bahan pengikat pada campuran beraspal yang dimanfaatkan sebagai lapis permukaan lapis perkerasan lentur. Aspal berasal dari alam atau dari pengolahan minyak bumi.

Tabel 2. 3. 1 Spesifikasi bahan aspal pasal 6.3.2. PU Bina Marga 2018

No.	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal yang Dimodifikasi	
				A	C
				Asbuton yang diproses	Elastomer Sintetis
1.	Penetrasi pada 25 ⁰ C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60-70	Min. 50	Min. 40
2.	Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s)	SNI 06-6441-2000	160-240	240-360	320-480
3.	Viskositas 135 ⁰ C (cSt)	SNI 06-6441-2000	≥ 300	385-2000	≤3000
4.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥48	≥53	≥54

5.	Daktilitas pada 25 ⁰ C, (cm)	SNI 2434:2011	≥ 100	≥ 100	≥ 100
6.	Titik Nyala (⁰ C)	SNI 2433:2011	≥ 232	≥ 232	≥ 232
7.	Kelarutan dlm Toluene (%)	AASTHO T44-03	≥ 99	≥ 90	≥ 99
8.	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1.0	≥ 1.0	≥ 1.0
9.	Stabilitas Penyimpanan (⁰ C)	ASTM D 5976 part 6.1		≤ 2.2	≤ 2.2
10	Partikel yang lebih halus dari 140 micron (μm) (%)			Min. 95	

2.3.2 Aspal Modifikasi

Menurut Peraturan Umum Bina Marga 2018, bahan aspal yang digunakan dapat berupa aspal standar sesuai dengan ASTM D946/M946-15, ataupun menggunakan aspal modifikasi sesuai dengan AASTHO M316-13. Aspal modifikasi yang disebutkan ialah aspal atau bitumen dengan campuran karet dengan jenis karet styrene butadiene. Aspal modifikasi dengan karet ini memiliki 2 jenis yaitu CRS-2P (aspal emulsi kationik yang dibuat dari aspal yang dimodifikasi dengan *Styrene-Butadiene Styrene Block Copolymer*) dan CRS-2L (aspal emulsi kationik yang dibuat dari aspal yang dimodifikasi dengan *Styrene-Butadiene Rubber Latex* atau *Polychloroprene Latex*). Dan ketentuan-ketentuan aspal modifikasi ini sebagai berikut :

Tabel 2.3.2 Spesifikasi Bahan Aspal Pasal 6.2.2 PU Bina Marga
2018

No	Sifat	Metoda Pengujian	Satuan	CRS-2P	CRS-2L
	Pengujian pada Aspal Emulsi				
1	Viskositas Saybolt Furrol 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	
	Pengujian pada Residu Hasil Penguapan				
7	Penetrasi pada 25°C	SNI 2456:2011	0,1 mm	100 - 175	100 - 175
8	Daktilitas 4°C cm/menit	SNI 06-2432-1991	cm	Min. 30	Min. 30
9	Daktilitas 25°C 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	AASTHO T301-99 (2003)	% berat	50	tidak digunakan
12	Kadar polimer padat	AASHTO T302-15	% berat	Min. 2,5	Min. 2,5
13	Kelarutan dalam <i>Tricloroethylene</i>	SNI 2438:2015	% berat	Min. 97,5	Min. 97,5

2.3.3 Perencanaan Kadar Aspal

Menghitung perkiraan awal kadar aspal optimum (Pb), berdasarkan rumus empiris pada pers. 2.1. berikut :

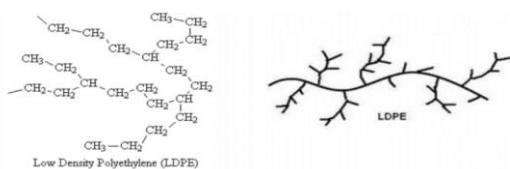
$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\% FF) + \text{Konstanta} \quad (2.1)$$

Dimana ,

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

2.3.4 Low Density PolyEthilene (LDPE)

Menurut (Ahmad, Hafizullah., 2011), Polietilena berdensitas rendah (low density polyethylene, LDPE) adalah termoplastik yang terbuat dari minyak bumi. Pertama kali diproduksi oleh Imperial Chemical Industries (ICI) pada tahun 1933 menggunakan tekanan tinggi dan polimerisasi radikal. LDPE dapat didaur ulang, dan memiliki nomor 4 pada simbol daur ulang. LDPE dicirikan dengan densitas antara 0.910 – 0.940 g/cm³ dan tidak reaktif pada suhu kamar, kecuali oleh oksidator kuat dan beberapa jenis pelarut dapat menyebabkan kerusakan. LDPE dapat bertahan pada temperatur 90°C dalam waktu yang tidak terlalu lama.



Gambar 2. 2 Struktur Cabang Material Low Density Polyethilane

Low density polystyrene (PS) dan polietilena (PE), banyak digunakan sebagai bahan pengemas dan yang paling banyak diproduksi di seluruh dunia (James, 2016). 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 1150C. (Billmeyer, 1971). Secara fisik LDPE lebih fleksibel dan kerapatananya lebih kecil dibandingkan HDPE



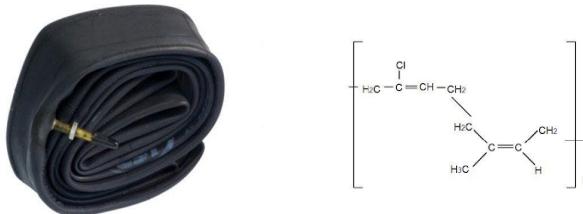
Gambar 2. 3 Limbah Plastik Low Density Polyethilane dan Penomoran LDPE

LDPE memiliki derajat kristalinitasnya 60%, polietilen merupakan polimer yang kristal dan mempunyai sifat hydrophob tinggi dengan energy permukaan rendah (Sitepu, I.P., 2009). Polimer termoplastik seperti polietilen densitas rendah (LDPE) merupakan bahan komposit polimer komersial yang relatif lebih murah dibandingkan polimer termoset yang tersedia. (Hamid, 2008).

2.5 *Isobutylene – Isoprene Rubber (Karet Ban Dalam)*

Isobutylene – Isoprene Rubber (IIR) atau karet ban dalam menurut laporan riset *Rubber Journal Asia*, termasuk dalam salah satu komponen pada roda kendaraan temasuk mobil maupun kendaraan bermotor yang berfungsi untuk menahan tekanan udara. Komponen ini dibuat dengan material yang kedap dan elastik. IIR

termasuk dalam ikatan kopolimer dimana komponennya terdiri dari *isobutylene* dan *isoprene*. IIR ini selain memiliki kandungan karet sintetis, juga mengandung karbon hitam (*black Carbon*). IIR



Gambar 2.4 Limbah ban dalam *isobutylene isoprene rubber*

2.6 Pengujian Marshall

Rancangan campuran berdasarkan metode *Marshall* ditemukan oleh Bruce Marshall. Pengujian *Marshall* bertujuan untuk mengukur daya tahan (stabilitas) campuran gregat dan aspal terhadap kelelahan 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 32,92 KN dan *flowmeter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan *flowmeter* untuk mengukur kelelahan plastis atau *flow*. Benda uji *marshall* standar berbentuk silinder berdiamater 4 inchi (10,16 cm) dan tinggi 2,5 inchi (6,35 cm).

2.7 Parameter Pengujian Marshall

2.7.1 Density

Nilai Density adalah nilai berat volume untuk menunjukkan kepadatan dari campuran beton aspal, faktor-faktor yang mempengaruhi Density yaitu temperatur pemadatan, komposisi bahan penyusun, semakin bertambahnya kadar aspal semakin banyak

rongga-rongga udara yang terisi aspal, sehingga kerapatan semakin tinggi

Menurut Roberts, F.L. (1991) bahwa, jika nilai kadar aspal naik maka *density* ikut naik sampai mencapai puncak kemudian akan turun. Puncak kemampatan biasanya bersamaan dengan kadar aspal optimum dan stabilitas puncak. Sebenarnya kemampatan yang didapat selama pemadatan di laboratorium tidak begitu penting. 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.

2.7.2 Rongga dalam Campuran/ *Void In Mix* (VIM)

Void In Mix adalah volume total udara yang berada di antara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah didapatkan, dan dinyatakan dalam persen volume bulk (Pusitbang,2000)

Void In Mix atau disebut juga rongga dalam campuran digunakan untuk mengetahui besarnya rongga campuran dalam persen. Rongga udara yang dihasilkan ditentukan oleh susunan 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 mengekibatkan kelelahan lebih cepat.

Persamaan VIM :

$$VIM = 100 \times \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \quad (2.2)$$

Keterangan :

VIM : Rongga udara dalam campuran, persen total campuran.(%)

Gmm : Berat jenis maksimum campuran, rongga udara 0. (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, 2010.

2.7.3 Rongga dalam Agregat / Void In Mineral Aggregate (VMA)

Pengertian rongga dalam mineral / *void in mineral aggregate* (VMA) adalah rongga antar butiran agregat dalam campuran aspal yang sudah dipadatkan serta aspal efektif yang dinyatakan dalam presentase volume total campuran. Agregat bergradasi menerus memberikan rongga antar butiran VMA yang kecil dan menghasilkan stabilitas yang tinggi tetapi membutuhkan kadar aspal yang rendah untuk mengikat agregat. VMA yang 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, 2000 adalah voulme rongga yang terdapat di antara partikel agregat

suatu campuran yang telah dipadatkan, yang dinyatakan dalam persen terhadap volume total benda uji.

Persamaan VMA :

$$VMA = 100 - \frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{(100+pb)} \times 100 \quad (2.3)$$

Keterangan :

VMA : Rongga diantara mineral agregat, persen volume *bulk*

Gsb : Berat jenis *bulk* agregat (gr/cm³)

Gmb : Berat jenis *bulk* campuran padat (gr/cm³)

Pb : Kadar aspal persen terhadap berat total campuran (%)

Untuk nilai VMA ini dapat divisualkan dengan kondisi bejana tabung transparan yang diisi dengan agregat dengan ukuran 12,5 mm sampai dengan 4,75 mm, kemudian dilanjutkan dengan pengisian ageragat halus saringan dibawah 4,75 mm sampai dengan saringan 0,0075 mm berupa agregat halus dan abu batu dan juga *filler*. Dari pencampuran tersebut akan terciptanya ronggarongga antar mineral yang tidak terisi. Rongga tersebutlah yang disebut dengan rongga antara butiran agregat dalam campuran. Untuk megetahui VMA dalam campuran secara visual sulit dilakukan karena telah terjadinya proses pencampuran, sehingga hanya bisa dihitung dengan menggunakan persamaan mencari nilai VMA. Untuk syarat spesifikasi yang di syaratkan Bina Marga 2010 nilai VMA minimal adalah 15%.

2.7.4 Rongga Terisi Campuran Beraspal / Void In Filled With Asphalt (VFA)

Menurut Puslitbang, 2000 pengertian VFA adalah bagian dari rongga yang berada diantara mineral agregat

(VMA) yang terisis aspal efektif dinyatakan dalam persen. dan secara umum menurut Silvia Sukirman, 1999 Rongga terisis 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 :

$$VFA = \frac{100(VMA - VIM)}{Gmm} \quad (2.4)$$

Keterangan :

VFA : Rongga terisi aspal (%)

VMA : Rongga diantara mineral (%)

VIM : Rongga udara campuran, persen total campuran (%)

Gmm : Berat jenis maksimum campuran.

Untuk nilai VFA yang disyaratkan oleh Bina Marga tahun 2010 minimum adalah 65%.

2.7.5 Stabilitas *Marshall*

Stabilitas Marshall adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi alir (flow) yang dinyatakan dalam kilogram, sedangkan alir (flow) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban yang dinyatakan dalam mm. (SNI 06-2489-1991). Stabilitas pada lapisan perkerasan harus mampu menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk seperti gelombang, alur, ataupun bleeding.

Sedangkan Menurut *The Asphalt Institute*, Mudianto (2004), 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

2.7.6 Keleahan (*Flow*)

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

2.7.7 *Marshall Quotient*

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

Persamaan *Marshall Quotient* :

$$MQ = \frac{S}{F} \quad (2.5)$$

Keterangan:

MQ : Marshall Quotient (kg/mm).

S : Nilai stabilitas terkoreksi (kg).

F : Nilai flow (mm).

2.8. Penelitian Sebelumnya

Nama Penulis : Nurkhayati Darunifah. 2007.^[5]

Judul	: Pengaruh bahan tambahan karet padat terhadap karakteristik campuran hot rolled sheet wearing course (HRS - WC).
Variabel	: Aspal (6,6%, 7,1%, 7,6% dan 8,1%) Karet (0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%)
Metode	: Basah
Kesimpulan	: Pencampuran antara karet dan aspal dengan variasi tumbukan 2x75 dan 2x400 menghasilkan kadar optimum antara aspal dan karet yaitu kadar aspal sebesar 7,1% dengan kadar karet sebesar 2%. Karet yang digunakan merupakan karet berjenis SBR atau ban karet vulkanisir. Dan campuran aspal yang digunakan yaitu HRS – WC.
Nama Penulis	: Widi Wantoro ^[8]
Judul	: Pengaruh Penambahan Plastik Bekas Tipe <i>Low Density Polyethylene</i> (LDPE) Terhadap Kinerja Campuran Beraspal
Variabel	: Nilai KAO 6% LDPE (0%, 2%, 4% dan 6%)
Metode	: -
Kesimpulan	: Dengan spesifikasi aspal AC – WC dengan kadar aspal 6%. Dari pencampuran optimum yang sesuai dengan spesifikasi dari penambahan LDPE yaitu dengan menambahkan LDPE sebesar 2% dan 4% . Penelitian tersebut dilakukan dengan membandingkan aspal konvensional

dan aspal modifikasi. Dengan spesifikasi penetrasi aspal 60/70 dan tumbukan 2x75

Nama Penulis : Andi Syaiful Amal.^[7]

Judul : Pemanfaatan Getah Karet Pada Aspalac 60/70 Terhadap Stabilitas Marshall Pada *Asphalt Treated Base* (ATB).

Variabel : Aspal (0-6%)

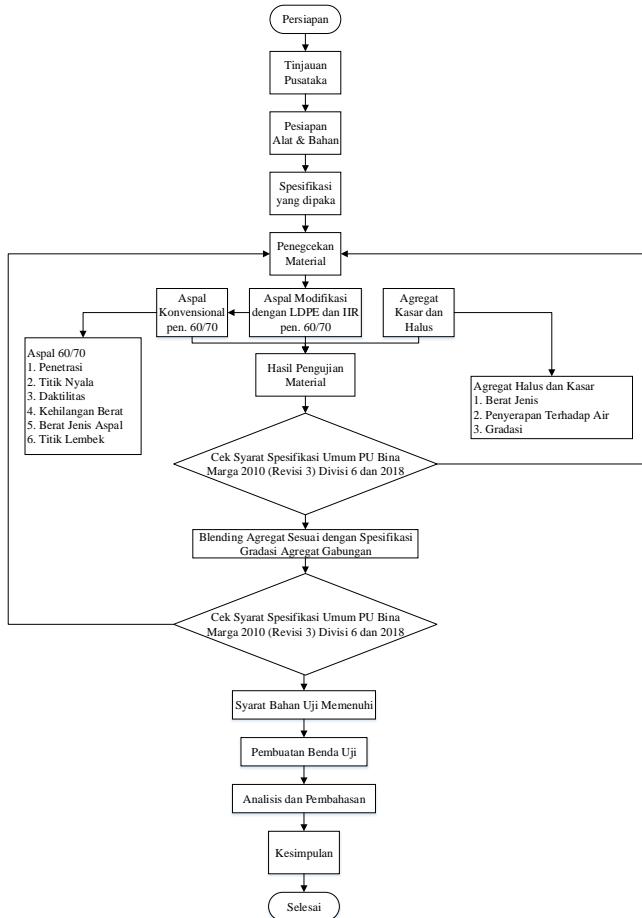
Metode : -

Kesimpulan : Pemanfaatan getah karet (lateks) pada aspal dengan variasi kadar aspal sebesar 0% - 6% dan penambahan lateks sebesar 2,5%. Didapatkan hasil pencampuran optimum dengan kadar aspal sebesar 3,7% dan kadar lateks sebesar 2,5%. Terdapat peningkatan stabilitas pada aspal yang dicampur dengan lateks dan memiliki rongga udara yang lebih kecil.

BAB III

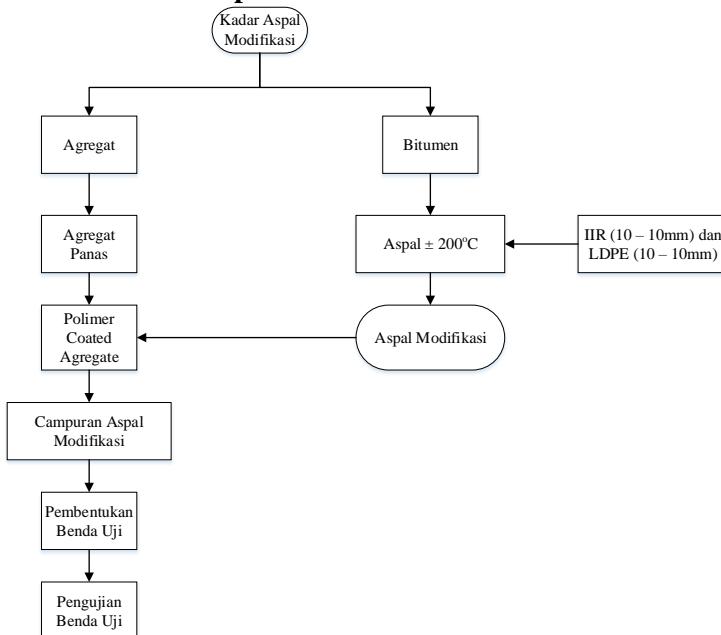
METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir pelaksnaan penelitian

3.2 Proses Pencampuran



Gambar 3.2 Diagram alir pembuatan benda uji

3.3 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Lab. Transportasi dan Geoteknik , Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

3.4 Persiapan Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut :

A. Peralatan

Dalam penelitian ini peralatan pengujian yang akan digunakan meliputi :

- Satu set saringan (*Sieve*)

- b. Alat uji aspal berupa uji penetrasi, uji kehilangan berat, dan uji daktilitas.

Selain itu juga sangat dibutuhkan perlatan uji aggregate meliputi

1. *Marshall*
2. Alat pengering, dan kelengkapan penimbangan serta peralatan penunjang penelitian seperti wajan penggorengan, kompor pemanas, thermometer, sendok/pengaduk, sarung tangan, kain lap, timbangan, ember.

B. Bahan

Untuk penelitian ini dibutuhkan material uji berupa limbah plastik kantong kresek (*LDPE*) yang telah dipotong ± 1 cm, limbah karet ban dalam (*IIR*) yang telah diubah kedalam bentuk serbuk atau parutan, serta material utama pembuatan lapisan aspal beton yang meliputi Aggregat kasar, aggregate halus, aspal 60/70.

C. *Treatment* Plastik Kantong Kresek dan Limbah karet ban

Plastik yang digunakan berasal dari segala merek kantong plastic. Adapun langkah-langkah pengolahan plastik tersebut sebelum di masukkan dalam campuran aspal sebagai berikut :

a. Plastik (*LDPE*)

1. Plastik di siapkan.
2. Bersihkan plastik dari lumpur atau zat-zat yang menempel pada plastik, pastikan plastik dalam keadaan bersih..
3. Cacah plastic kecil kecil dengan dimensi 10 mm x 10 mm

b. Ban Dalam (*IIR*)

1. Ban dalam disiapkan

2. Bersihkan ban dari lumpur atau zat-zat yang menempel pada ban, pastikan ban dalam keadaan bersih.
3. Ban Dalam yang akan diolah ke dalam campuran aspal adalah ban dalam yang sudah dalam bentuk serbuk atau potongan guna untuk mempermudah proses peleahan

3.5 Pengujian Material

A. Aspal pen. 60/70

Dilakukan Uji Penetrasi, Titik lembek, Daktilitas, Berat Jenis, serta Kehilangan Berat sesuai peraturan yang telah ada yaitu Standar Nasional Indonesia dan Bina Marga.

B. Agregat

Agregat sangat diperlukan sebagai bahan pengisi, meliputi Agregat Halus dan Agregat Kasar. Untuk Memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan maka perlu dilakukan pengujian Analisa Saringan, Berat Jenis, dan Penyerapan.

3.6 Pencampuran limbah Plastik dan Ban dalam

Ada 2 teknik pencampuran pada campuran aspal,yaitu :

a. Metode Basah (*Wet process*)

Cara pencampuran dimana ban dimasukkan ke dalam aspal panas dan diaduk dengan kecepatan tinggi sampai homogen. Cara ini membutuhkan tambahan dana cukup besar antara lain bahan bakar, mixer kecepatan tinggi sehingga aspal modifikasi yang dihasilkan harganya cukup besar bedanya dibandingkan dengan aspal konvensional.

3.7 Pembuatan Benda Uji Campuran Aspal

- a. Menimbang agregat sesuai dengan berat persentase agregat campuran yang telah dihitung, pembuatan benda uji dibuat sebanyak yang dibutuhkan dengan masing masing variasi kadar aspal rencana.
- b. Memanaskan karet dan plastik menggunakan aspal panas dengan perbandingan berat 1:1 pada suhu 200°C
- c. Memanaskan aspal dan agregat untuk pencampuran menggunakan kompor pemanas, agar temperatur pencampuran agregat dan aspal tetap terjaga (konstan). maka pencampuran dilakukan diatas pemanas dan diaduk hingga rata. Suhu pencampuran agregat dengan aspal pada suhu 155°C dan pemasakan suhu nya berkisar antara 145°C
- d. Kemudian melakukan pemasakan standar dengan alat *Marshall Automatic Compactor* dengan jumlah tumbukan 75 kali.
- e. Benda uji didiamkan supaya suhunya turun, setelah itu benda uji dikeluarkan dengan ejektor dan diberi kode dengan menggunakan penanda.
- f. Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel kemudian ditimbang berat nya untuk mendapatkan berat benda uji kering.
- g. Benda uji direndam dalam air selama 16 – 24 jam supaya jenuh.
- h. Ditimbang dalam air untuk mendapatkan berat benda uji dalam air.
- i. Kemudian benda uji dikeluarkan dari bak perendam dan dikeringkan dengan kain lap sampai permukaan kering dan didapatkan berat benda uji kering permukaan jenuh (*saturated surface dry, SSD*) kemudian ditimbang.

a. Pengujian Marshall

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

b. 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 VMA
- Kadar aspal terhadap VFA
- Kadar aspal terhadap stabilitas
- Kadar aspal terhadap *flow*
- Kadar aspal terhadap *Marshall Quotient (MQ)*

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Material

hasil pengujian material ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik material yang digunakan apakah sesuai dengan standar atau tidak. Pada pengujian material yaitu agregat (kasar, sedang dan halus), bitumen dan bitumen yang di modifikasi. Penggunaan standar sebagai rujukan pelaksanaan yaitu berdasarkan SNI dan Peraturan Umum Bina Marga tahun 2018.

4.2 Agregat

4.2.1 Analisa Saringan Agregat

Pengujian dalam analisa saringan agregat bertujuan untuk mengetahui jumlah berat tertahan dan lolos dalam setiap saringan atau ukuran agregat. Hasil dari analisa saringan agregat ini digunakan sebagai perhitungan persentase tiap fraksi agregat dan *job mix formula* sesuai dengan spesifikasi Peraturan Umum Bina Marga 2018.

Contoh perhitungan jumlah % agregat tertahan :

$$\begin{aligned} \text{- Saringan } 1/2'' &= \frac{\text{JumlahBeratTertahan}}{\sum \text{Totalberat}} \times 100\% \\ &= \frac{697,4}{3000} \times 100\% \\ &= 22,13 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan jumlah % agregat lolos :

$$\begin{aligned} \text{- Saringan } 1/2'' &= 100\% - \text{jumlah\%tertahan} \\ &= 100\% - 23,13\% \\ &= 76,87\% \end{aligned}$$

a. Agregat Kasar (10-10 mm)

Tabel 4.1 Berat per saringan untuk agregat 10-10mm

Analisis Ayakan Fraksi 10/10			Berat Sampel		=	3000	gr			
No.	No. Ayakan	Berat Tertahan				Jumlah	Presentase			
		(gram)			Tertahan	Tertahan	Lolos			
		Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata-rata	(gram)	(%)	(%)		
	3/4"	19, 1	0	0	0	0	0	100		
1	1/2"	12, 54	697, 4	669, 6	624, 8	663, 93	663,9 3	22,13 77, 87		
2	3/8"	9,5	1508 .7	1512	1646	1555 .57	2219, 50	73,98 26, 02		
3	No. 4	4,7 5	791, 9	817, 8	727, 8	779, 17	2998, 67	99,96 0,0 4		
4	No. 8	2,3 6	0	0	0	0	0			
5	No. 16	1,1 8	0	0	0	0	0			
6	No. 30	0,6 00	0	0	0	0	0			
7	No. 50	0,3 00	0	0	0	0	0			
8	No. 100	0,1 50	0	0	0	0	0			
9	No. 200	0,0 75	0	0	0	0	0			
10	Pan		0	0	0	0	0			
	Jumlah		2998 .4	2999 .6	2998 .6					

Berat sebelum diayak sebesar 3000gr dan setelah diayak tereduksi.

Contoh sampel 1, berat awal sebesar 3000gr dan berat akhir setalah diayak sebesar 2998 gr

Contoh perhitungan jumlah % agregat tertahan :

$$\text{- Saringan } 1/2'' = \frac{\text{Jumlah Berat Tertahan}}{\sum \text{Total berat}} \times 100\%$$

$$= \frac{697,4}{3000} \times 100\% \\ = 22,13$$

Contoh perhitungan jumlah % agregat lolos :

- Saringan 1/2" = $100\% - \text{jumlah \% tertahan}$

$$= 100\% - 23,13\%$$

$$= 76,87\%$$

b. Agregat Sedang (5-10 mm)

Tabel 4.2 Berat per saringan untuk agregat 5-10mm

Analisis Ayakan Fraksi 5/10			Berat Sampel				=	3000	gr
No.	No. Aya kan		Berat Tertahan				Jumla h	Presentase	
			(gram)				Terta han	Terta han	Lol os
			Sam pel 1	Sam pel 2	Sam pel 3	Rata-rata	(gram)	(%)	(%)
1	3/4"	19, 1	0	0	0	0	0	0	100
2	1/2"	12, 54	0	0	0	0	0	0	100
3	3/8"	9,5	0	0	0	0	0	0	100
4	No. 4	4,7 5	1685 .8	1754 .6	1628 .2	1689 .53	1689, 53	56,32	43, 68
5	No. 8	2,3 6	1306 .6	1243 .6	1370 .4	1306 .87	2996, 40	99,88	0,1 2
6	No. 16	1,1 8	0	0	0	0	0		
7	No. 30	0,6 00	0	0	0	0	0		
8	No. 50	0,3 00	0	0	0	0	0		
9	No. 100	0,1 50	0	0	0	0	0		
10	No. 200	0,0 75	0	0	0	0	0		
11	Pan		0	0	0	0	0		
	Juml ah		2992 .4	2998 .2	2998 .6				

c. Agregat Halus (0-5 mm)

Tabel 4.3 Berat per saringan untuk agregat 0-5mm

Analisis Ayakan Fraksi 0/5				Berat Sampel		=	3000	gr		
No.	No. Ayakan	Berat Tertahan				Jumlah	Presentase			
		(gram)				Tertahan	Tertahan	Lolos		
		Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata- rata	(gram)	(%)	(%)		
1	3/4"	19,1	0	0	0	0	0	100		
2	1/2"	12,54	0	0	0	0	0	100		
3	3/8"	9,5	0	0	0	0	0	100		
4	No. 4	4,75	9	12,9	7	9,63	9,63	0,32 99,68		
5	No. 8	2,36	128,6	128,5	122,4	126,50	136,13	4,54 95,46		
6	No. 16	1,18	360	352,8	342,6	351,80	487,93	16,26 83,74		
7	No. 30	0,600	472,8	489,6	489,9	484,10	972,03	32,40 67,60		
8	No. 50	0,300	555,8	550,3	552,6	552,90	1524,93	50,83 49,17		
9	No. 100	0,150	602,6	601,9	611,2	605,23	2130,17	71,01 28,99		
10	No. 200	0,075	555,7	560,3	559,9	558,63	2688,80	89,63 10,37		
11	Pan		313,9	301,6	306,5	307,33	2996,13	99,87 0,13		
Jumlah		2998,4	2997,9	2992,1						

4.2.2 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Pada pengujian berat jenis ini bertujuan untuk mendapatkan nilai berat jenis agregat dengan kondisi curah, permukaan jenuh(SSD) dan semu. Dan pengujian penyerapan bertujuan untuk mengetahui daya serap agregat tiap ukuran.

a. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar (10-10 mm)

Tabel 4.4 Berat uji agregat 10-10mm

Berat Jenis Agregat 10/10						
No.	Pengujian	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata-rata	Ket.
1.	Perendaman Benda Uji		4	4	4	4 Hari
2.	Benda Uji Kering Permukaan Jenuh	(SSD)	3022,3	3027,5	3040,9	3030,23 Gram
3.	Berat Agregat dalam air	(B _{aa})	1798,2	1795,6	1793	1795,6 Gram
4.	Berat Kering Oven	(B _k)	3000	3000	3000	3000 Gram

Perhitungan berat jenis curah

$$\begin{aligned}\text{Berat Jenis} &= \frac{Bk}{SSD - Baa} \\ &= \frac{3000}{3030,23 - 1795,6} \\ &= 2,44\end{aligned}$$

Perhitungan berat jenis permukaan jenuh (SSD)

$$\begin{aligned}\text{Berat Jenis} &= \frac{SSD}{SSD - Baa} \\ &= \frac{3030,23}{3030,9 - 1795,6} \\ &= 2,46\end{aligned}$$

Perhitungan berat jenis semu

$$\begin{aligned}\text{Berat Jenis} &= \frac{Bk}{Bk - Baa} \\ &= \frac{3000}{3000 - 1795,6} \\ &= 2,49\end{aligned}$$

Perhitungan Penyerapan Agregat

$$\begin{aligned}\text{Penyerapan} &= \frac{SSD}{SSD - Bk} \\ &= \frac{303,23}{3030,23 - 1795,6} \\ &= 1,01\end{aligned}$$

b. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Sedang (5-10 mm)

Tabel 4.5 Berat uji agregat 5-10mm

Berat Jenis Agregat 5/10						
No.	Pengujian	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata-rata	Ket.

1.	Perendaman Benda Uji		4	4	4	4	Hari
2.	Benda Uji Kering Permukaan Jenuh	(SSD)	2023,3	2026,4	2033	2027,56	Gram
3.	Berat Agregat dalam air	(B _{aa})	1215,4	1221,4	1223,2	1220	Gram
4.	Berat Kering Oven	(B _k)	2000	2000	2000	2000	Gram

Perhitungan berat jenis curah

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis} &= \frac{Bk}{SSD - Baa} \\ &= \frac{2000}{2027,56 - 1220} \\ &= 2,48 \end{aligned}$$

Perhitungan berat jenis permukaan jenuh (SSD)

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis} &= \frac{SSD}{SSD - Baa} \\ &= \frac{2027,56}{2027,56 - 1220} \\ &= 2,51 \end{aligned}$$

Perhitungan berat jenis semu

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis} &= \frac{Bk}{Bk - Baa} \\ &= \frac{2000}{2000 - 1220} \\ &= 2,56 \end{aligned}$$

Perhitungan Penyerapan Agregat

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan} &= \frac{SSD}{SSD - Bk} \\ &= \frac{2027,56}{2027,56 - 1220} \\ &= 1,38 \end{aligned}$$

c. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus (0-5 mm)

Tabel 4.6 Berat uji agregat 5-10mm

Berat Jenis Agregat Halus 0/5						
No.	Pengujian		Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata	Ket.
1.	Perendaman Benda Uji		4	4	4	Hari
2.	Benda Uji Kering Permukaan Jenuh	(SSD)	500	500	500	Gram
3.	Berat Piknometer Berisi Air (250C)	(B _a)	657	657	657	Gram
4.	Berat Piknometer + SSD + Air	(B _{gab})	972,9	968,4	970,65	Gram
5.	Berat Kering Oven	(B _k)	488,3	490,1	489,2	Gram

Perhitungan berat jenis curah

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis} &= \frac{Bk}{Ba + SSD - Bgab} \\ &= \frac{489,2}{657 + 500 - 970,65} \\ &= 2,63 \end{aligned}$$

Perhitungan berat jenis permukaan jenuh (SSD)

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis} &= \frac{SSD}{Ba + SSD - Baa} \\ &= \frac{500}{657 + 500 - 970,65} \\ &= 2,51 \end{aligned}$$

Perhitungan berat jenis semuc

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis} &= \frac{Bk}{Ba + Bk - Bgab} \\ &= \frac{489,2}{657 + 489,2 - 970,65} \\ &= 2,56 \end{aligned}$$

Perhitungan Penyerapan Agregat

$$\begin{aligned}\text{Penyerapan} &= \frac{SSD}{SSD - Bk} \\ &= \frac{2027,56}{2027,56 - 1220} \\ &= 1,38\end{aligned}$$

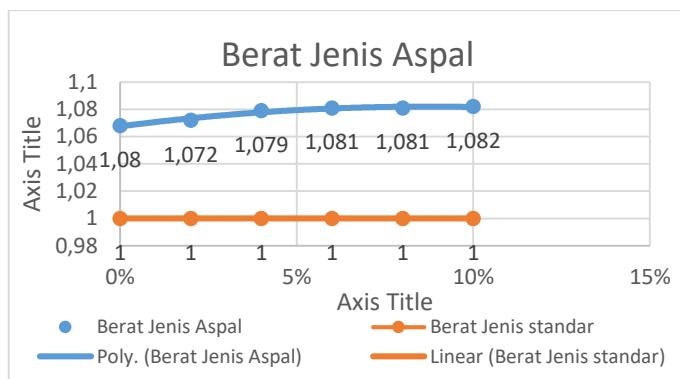
4.2.3 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Hasil pengujian karakteristik aspal ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik aspal yang dipakai, baik aspal konvensional dengan nilai penetrasi 60/70 maupun aspal termodifikasi. Dari hasil pengujian karakteristik aspal didapatkan hasil sebagai berikut :

- a. Berat Jenis Aspal

Tabel 4.7 Uji Berat Jenis Aspal

	Pengujian Berat Jenis Aspal					
	Kadar Campuran Karet Plastik					
	0%	2%	4%	6%	8%	10%
Berat Jenis	1,068	1,072	1,079	1,081	1,081	1,082
Berat Jenis Min.	1	1	1	1	1	1

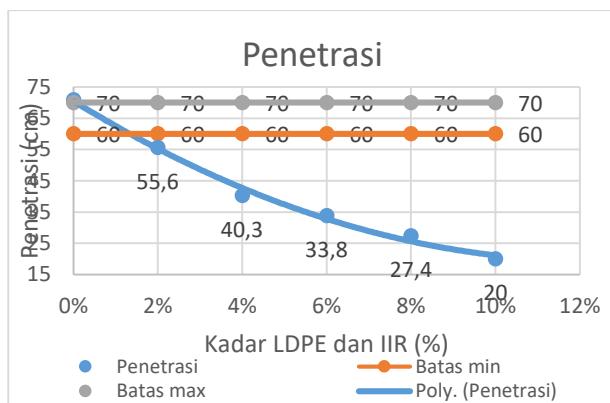


Gambar 4.2.3.1 Grafik berat jenis aspal modifikasi

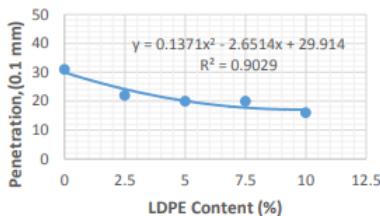
b. Nilai Penetrasi Aspal

Tabel 4.8 Uji Penetrasi Aspal

Aspal Pen.60/70	Pengujian Penetrasi Aspal					
	Kadar Campuran Karet Plastik					
	0%	2%	4%	6%	8%	10%
Penetrasi	64	55,6	40,3	33,8	27,4	20
Parameter	60-79	60-79	60-79	60-79	60-79	60-79



Gambar 4.2.3.2 Grafik penetrasi aspal modifikasi

**Figure 5.** Relationship between Penetration and LDPE Content for modified binder with 15%CRM

Gambar 4.2.3.3 Grafik penetrasi aspal modifikasi (literatur)

Sumber : Yassir Abo Almaali. 2020. evaluation the effect of waste lo-density polythlene and crumbrubber on phsical properties of asphalt

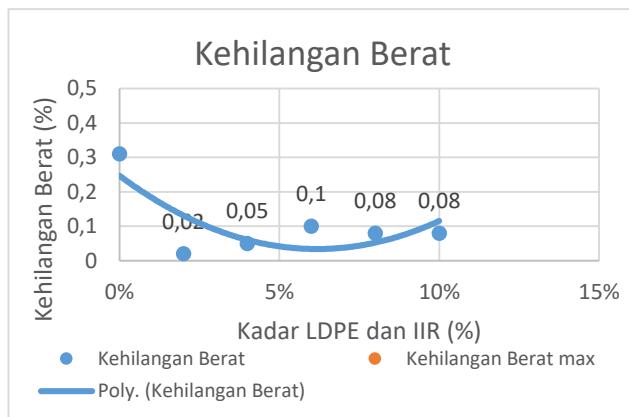
Pada hasil pengujian tersebut diketahui bahwa setiap penambahan persentase zat aditif terhadap aspal dapat menurunkan nilai penetrasi aspal. hal ini bersesuaian dengan penelitian

sebelumnya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa aspal tersebut lebih keras bila dibandingkan dengan aspal konvensional.

c. Kehilangan Berat

Tabel 4.9 Uji Kehilangan Berat Aspal

Aspal Pen.60/70	Pengujian Kehilangan Berat Aspal					
	Kadar Campuran Karet Plastik					
	0%	2%	4%	6%	8%	10%
Kehilangan Berat (%)	0,31	0,02	0,05	0,1	0,08	0,08
Nilai Min.	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8



Gambar 4.2.3.4 Grafik kehilangan berat aspal modifikasi

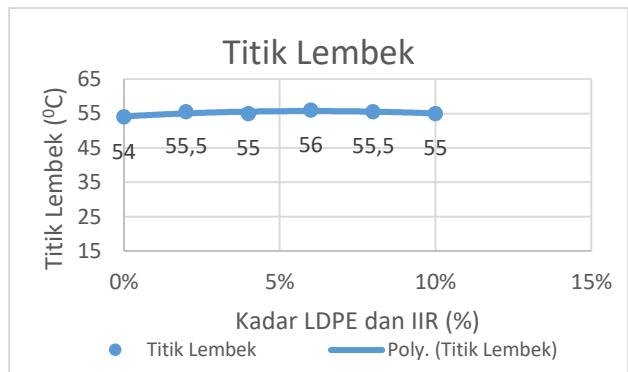
Pada hasil pengujian kehilangan berat aspal diketahui bahwa setiap penambahan zat aditif memengaruhi nilai kehilangan berat aspal. pada setiap penambahan persentase zat aditif

mengurangi nilai kehilangan berat aspal dari nilai kehilangan berat aspal konvensional.

d. Titik Lembek

Tabel 4.10 Uji Titik Lembek Aspal

Aspal Pen.60/70	Pengujian Titik Lembek Aspal					
	Kadar Campuran Karet Plastik					
	0%	2%	4%	6%	8%	10%
Titik Lembek (°C)	54	55,5	55	56	55,5	55
Nilai Min.	50- 58	50- 58	50- 58	50- 58	50- 58	50- 58



Gambar 4.2.3.5 Grafik titik lembek aspal modifikasi

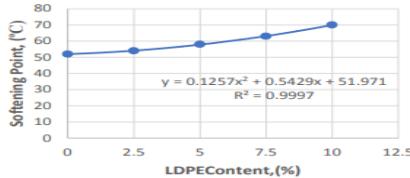


Figure 8. Relationship between Softening Point and LDPE Content for modified binder with 15%CRM

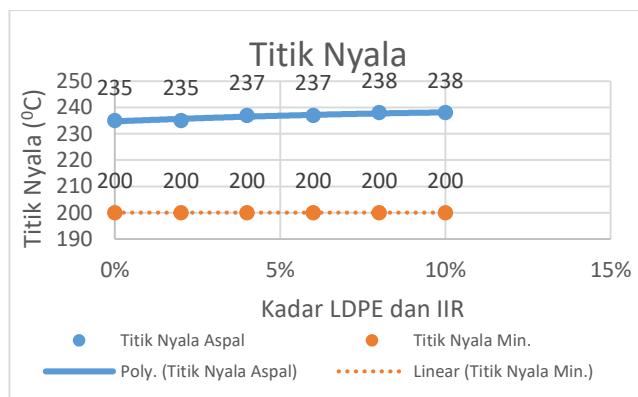
Gambar 4.2.3.6 Grafik titik lembek aspal modifikasi (literatur)

Sumber : Yassir Abo Almaali. 2020. Evaluation the effect of waste lo-density polythlene and crumbrubber on phsical properties of asphalt

Pada hasil pengujian tersebut diketahui bahwa setiap penambahan kadar zat aditif dapat meningkatkan nilai titik lembek aspal. hal ini bersesuaian dengan penelitian sebelumnya dimana penelitian sebelumnya menggunakan skala persentase yang lebih besar.

e. Titik Nyala

Tabel 4.11 Uji Titik Nyala Aspal



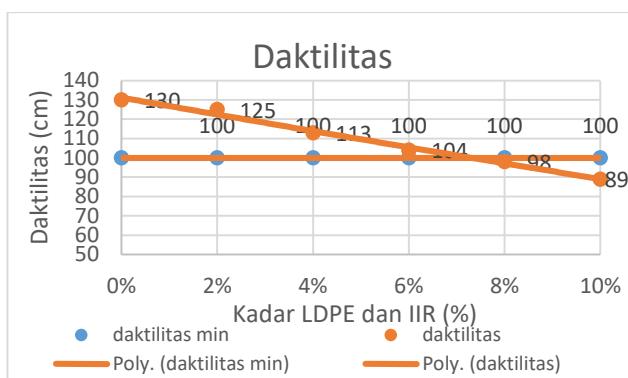
Gambar 4.2.3.7 Grafik titik nyala aspal modifikasi

Berdasarkan hasil pengujian titik nyala aspal, dihasilkan bahwa setiap penambahan kadar zat aditif memengaruhi nilai titik nyala dimana setiap penambahan persentase dapat meningkatkan nilai titik nyala.

f. Daktilitas

Tabel 4.12 Uji Daktilitas Aspal

Aspal Pen. 60/70	Pengujian Berat Jenis Aspal					
	Kadar Campuran Karet Plastik					
	0%	2%	4%	6%	8%	10%
daktilitas (cm)	130	125	113	104	98	89
daktilitas min. (cm)	100	100	100	100	100	100



Gambar 4.2.3.8 Grafik Daktilitas aspal modifikasi

Pada pengujian karakteristik aspal ini bahwa dengan penambahan karet dan plastik pada aspal murni dapat meningkatkan nilai berat jenis aspal, titik lembek aspal dan titik nyala aspal. Dengan penambahan ini terdapat pula penurunan nilai pada nilai penetrasi aspal, dan berat jenis. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya zat aditif yaitu karet dan plastik dan meningkatkan ketahanan aspal terhadap suhu tinggi ditunjukkan dengan adanya peningkatan nilai titik lembek dan titik nyala, lalu penurunan nilai berat aspal yang tidak terlalu besar dengan ditunjukkannya hasil pengujian kehilangan berat aspal. Namun dengan bertambahnya zat aditif dapat menurunkan nilai penetrasi aspal sehingga aspal menjadi semakin kaku. Dari pembahasan ini dapat disimpulkan bahwa aspal modifikasi karet plastik ini tidak sesuai apabila diterapkan pada wilayah dengan suhu rendah yang memungkinkan terjadinya *cracking* pada aspal dan tidak sesuai dengan perencanaan untuk perkerasan jalan yang menggunakan spesifikasi campuran dengan nilai penetrasi 60/70.

4.3 Perencanaan Proporsi Agregat Gabungan

Perencanaan proporsi agregat gabungan ini digunakan acuan dari Peraturan Umum Bina Marga 2018. Sesuai dengan spesifikasi yang dipakai yaitu Lataston lapis aus atau yang disebut dengan HRS-WC. Pada penentuan proporsi, digunakan 3 fraksi agregat melalui cara *trial and error*. sehingga didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.13 Rekapitulasi Jumlah Agregat Lolos Saringan

No. Ayakan	Agregat				Spesifikasi		
	10/10	5/10	0/5	Filler	HRS-WC		
	Lolos %	Lolos %	Lolos %	Lolos %	BB	-	BA
3/4"	19,1	100,00	100	100		100	- 100
1/2"	12,54	77,87	100	100		90	- 100
3/8"	9,5	26,02	100	100		75	- 85
No. 4	4,75	0,04	43,68	99,68		67	- 78
No. 8	2,36		0,12	95,46		50	- 72
No. 16	1,18			83,74		42	- 66
No. 30	0,600			67,60		35	- 60
No. 50	0,300			49,17		25	- 43
No. 100	0,150			28,99		17	- 27
No. 200	0,075			10,37		6	- 10
Pan				0,13		2	- 9

Tabel 4.14 Perhitungan Proporsi Agregat dengan metode *trial and error*

No. Ayakan		Agregat				Total	Spesifikasi			Control Perseen	
		10/10	5/10	0/5	Filler		HRS-WC				
		23%	24%	51%	2%		B	B	-		
3/4"	19,1	23,0 0	24,0 0	51,0 0	2	100	10 0	0	-	10 0	
1/2"	12,5 4	17,9 1	24,0 0	51,0 0	2	94,9 1	90	-	-	10 0	
3/8"	9,5	5,98	24,0 0	51,0 0	2	82,9 8	75	-	-	85	
No. 4	4,75	0,01	10,4 8	50,8 4	2	63,3 3	63	-	-	81	
No. 8	2,36	0,00	0,03	48,6 9	2	50,7 1	50	-	-	72	
No. 16	1,18	0,00	0,00	42,7 1	2	44,7 1	43	-	-	66	
No. 30	0,60 0	0,00	0,00	34,4 8	2	36,4 8	35	-	-	60	
No. 50	0,30 0	0,00	0,00	25,0 8	2	27,0 8	25	-	-	43	
No. 100	0,15 0	0,00	0,00	14,7 9	2	16,7 9	16	-	-	27	
No. 200	0,07 5	0,00	0,00	5,29	2	7,29	6	-	-	10	
Pan		0,00	0,00	0,07	2	2,07	2	-	-	9	

Contoh perhitungan proporsi agregat gabungan sebagai berikut :

Agregat Kasar (saringan ½") =

$$\frac{\text{Jumlah \%Lolos}}{100\%} \times \% \text{proporsi campuran} = \frac{77,87}{100\%} \times 23\% = 17,91\%$$

Agregat Medium
(saringan no.4)

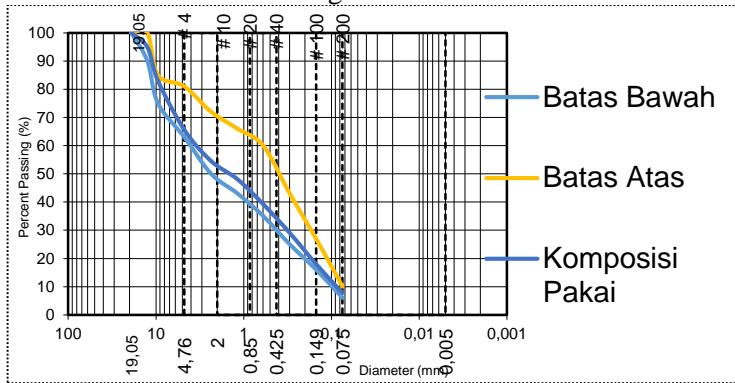
$$\frac{\text{Jumlah \%Lolos}}{100\%} \times \% \text{proporsi campuran} = \frac{43,68}{100\%} \times 24\% = 10,48\%$$

Agregat Halus

$$\frac{\text{Jumlah \%Lolos}}{100\%} \times \% \text{proporsi campuran}$$

$$(\text{saringan no.100}) = \frac{43,68}{100\%} \times 51\% = 14,79\%$$

Setelah penentuan fraksi dengan metode *trial and error* diatas, maka selanjutnya dilakukan *plotting* melalui grafik untuk memperjelas gradasi campuran dengan dibandingkan dengan parameter spesifikasi dari Peraturan Umum Bina Marga 2018.



Gambar 5.3.1 Grafik Gabungan 3 Fraksi

Dari grafik diatas didapati hasil bahwa perhitungan fraksi tidak melewati parameter spesifikasi. Sehingga fraksi yang digunakan yaitu :

Tabel 4.15 Nilai Fraksi

Ukuran Agregat	Nilai Fraksi
Agregat Kasar (CA) 10-10mm	23%
Agregat Medium (MA) 10-10mm	24%
Agregat Halus (FF) 10-10mm	51%
Penambahan Filler	2%

4.4 Perencanaan Pembuatan Benda Uji

Perencanaan pembuatan benda uji ini dilakukan dengan menggunakan perhitungan teoritis yang terbagi dalam 2 tahap yaitu perhitungan kadar aspal rencana

dan perhitungan komposisi campuran antara agregat dengan kadar aspal beserta variasi yang akan digunakan.

4.4.1 Perhitungan Kadar Aspal Rencana

Untuk merencanakan kadar aspal yang akan dipakai untuk campuran aspal, digunakan perhitungan perkiraan awal kadar aspal optimum(Pb) rencana sebagai berikut :

a. Fraksi Desain Butiran Agregat

Penentuan fraksi butiran agregat ini bertujuan sebagai penentuan kebutuhan agregat untuk setiap ukuran agregat yang akan digunakan. Hasil perhitungan penentuan fraksi desain butiran agregat sebagai berikut :

1. Variasi Komposisi Agregat Gabungan (ayakan no.8)

$$\Sigma \% \text{lolos ayakan no. 8} \times \frac{\% CA}{100\%}$$

$$\begin{aligned} \text{Agregat 5-10mm} &= \% \text{lolos ayakan no. 8} \times \frac{\% CA}{100\%} \\ &= 0,12 \times \frac{24\%}{100\%} = 0,029\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Agregat 5-10mm} &= \% \text{lolos ayakan no. 8} \times \frac{\% CA}{100\%} \\ &= 95,46 \times \frac{24\%}{100\%} = 46,48\% \end{aligned}$$

Maka didapatkan nilai FA yaitu :

$$FA = 0,029 + 46,48 + 2 \text{ (filler)}$$

$$= 48,51\%$$

2. Variasi Komposisi Agregat Gabungan (ayakan no.200)

$$\sum \% \text{ lolos ayakan no. } 8 \times \frac{\% \text{ CA}}{100\%}$$

Agregat 0-5mm =

$$\begin{aligned} \sum \% \text{ lolos ayakan no. } 200 \times \frac{\% \text{ CA}}{100\%} \\ = 10,37 \times \frac{51\%}{100\%} = 0,549\% \end{aligned}$$

Maka didapatkan nilai FF yaitu :

$$\begin{aligned} \text{FF} &= 0,549 + 2 (\text{filler}) \\ &= 2,549\% \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai CA, FA dan FF maka akan didapatkan nilai fraksi butiran dan perkiraan awal komposisi aspal terpakai secara gradasi melalui perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{CA} &= 100 - \text{FA} \\ &= 100 - 48,51\% \\ &= 51,49\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{FA} &= 48,51 - 2,549\% \\ &= 45,961\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total} &= 51,49 + 45,961 + 2,549 \\ &= 100\% \end{aligned}$$

Perkiraan awal komposisi aspal terpakai melalui gradasi :

$$\begin{aligned} \text{Pb} &= 0,035(\% \text{ CA}) + 0,045(\% \text{ FA}) + 0,18(\% \text{ FF}) \\ &+ \text{K} \\ &= \\ 0,035(51,49\%) &+ 0,045(45,961\%) + 0,18(2,549\%) + 2 \\ &= 5,96\% \approx 6\% \end{aligned}$$

b. Fraksi Desain Butiran Campuran

Penentuan fraksi butiran agregat ini bertujuan sebagai penentuan kebutuhan agregat

untuk setiap ukuran agregat yang akan digunakan. Hasil perhitungan penentuan fraksi desain butiran agregat sebagai berikut :

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

$$CA = 51,49 \times \left(\frac{100-6}{100} \right)$$

$$= 48,41\%$$

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

$$FA = 45,951 \times \left(\frac{100-6}{100} \right)$$

$$= 43,2\%$$

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

$$FF = 2,549 \times \left(\frac{100-6}{100} \right)$$

$$= 2,396\%$$

Maka nilai fraksi desain butiran campuran didapat sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Total} &= CA + FA + FF + Pb \\ &= 48,81 + 43,2 + 2,396 + 6 \\ &= 100\% \end{aligned}$$

c. Perkiraan Awal Penyerapan Aspal Tanpa *filler*

Perkiraan awal penyerapan aspal ini guna untuk menentukan nilai kadar aspal optimum secara teoritis. Perhitungan ini berdasarkan nilai fraksi dan penyerapan agregat. Berikut perhitungan nilai penyerapan aspal sebelum ditambahkan *filler*.

$$\begin{aligned} \text{Agregat } 10-10\text{mm} &= \text{Fraksi CA} \times \text{Penyerapan Agregat } 10-10\text{mm} \\ &= 0,23 \times 1,01 \\ &= 0,232\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Agregat } 5-10\text{mm} &= \text{Fraksi FA} \times \text{Penyerapan} \\
 &\quad \text{Agregat } 5-10\text{mm} \\
 &= 0,24 \times 1,38 \\
 &= 0,331\% \\
 \text{Agregat } 0-5\text{mm} &= \text{Fraksi FF} \times \text{Penyerapan} \\
 &\quad \text{Agregat } 0-5\text{mm} \\
 &= 51 \times 2,21 \\
 &= 1,126\% \\
 \text{Total} &= 0,232 + 0,331 + 1,126 \\
 &= 1,689\%
 \end{aligned}$$

Maka nilai perkiraan kadar aspal yaitu :

$$\begin{aligned}
 \text{Penyerapan Aspal} &= \text{konstanta} \times \text{total penyerapan} \\
 &\quad \text{agregat} \\
 &= 0,45 \times 1,689\% \\
 &= 0,76\% \\
 \text{KAO teoritis} &= \text{Penyerpan aspal} + \text{Pb} \\
 &= 0,76 \% + 6\% \\
 &= 6,76\% \approx 6,7\%
 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai kadar aspal optimum teoritis, selanjutnya menentukan variasi kadar aspal yang akan digunakan sesuai standar (-1;-0,5;0;+0,5;+1), yaitu :

- a. 5,7%
- b. 6,2%
- c. 6,7%
- d. 7,2%
- e. 7,7%

4.4.2 Perhitungan Komposisi Berat Material

Perhitungan komposisi berat materia ini guna untuk mendapatkan nilai berat dari agregat maupun aspal yang akan dipakai pada setiap variasi kadar aspal. Pada perhitungan berat aspal yang dipakai berdasarkan berat benda uji yaitu sebesar 1200 gram. Berikut hasil rekapitulasi komposisi berat :

Tabel 4.16 Komposisi Berat untuk variasi kadar aspal 5,7%

Variasi 1					
Kadar Aspal Rencana	5,7	%	Kumulatif Agregat		
Berat Sampel	1200	gram			
Berat Kadar Aspal	68,4	gram			
Berat agg. Kasar (10-10)mm : 23%	260,3	gram	260,3	gram	
Berat agg. Sedang (5-10)mm : 24%	271,6	gram	531,9	gram	
Berat agg. Halus (0-5)mm : 51%	577,1	gram	1109	gram	
Filler : 2%	22,6	gram	1132	gram	
Total	1200	gram	1200	gram	

Tabel 4.17 Komposisi Berat untuk variasi kadar aspal 6,2%

Variasi 2					
Kadar Aspal Rencana	6,2	%	Kumulatif Agregat		
Berat Sampel	1200	gram			
Berat Kadar Aspal	74,4	gram			
Berat agg. Kasar (10-10)mm : 23%	258,9	gram	258,9	gram	
Berat agg. Sedang (5-10)mm : 24%	270,1	gram	529	gram	
Berat agg. Halus (0-5)mm : 51%	574,1	gram	1103	gram	
Filler : 2%	22,5	gram	1126	gram	
Total	1200	gram	1200	gram	

Tabel 4.18 Komposisi Berat untuk variasi kadar aspal 6,7%

Variasi 3					
Kadar Aspal Rencana		6,7	%	Kumulatif Agregat	
Berat Sampel		1200	gram		
Berat Kadar Aspal		80,4	gram		
Berat agg. Kasar (10-10)mm	: 23%	257,5	gram	257,5	gram
Berat agg. Sedang (5-10)mm	: 24%	268,7	gram	526,2	gram
Berat agg. Halus (0-5)mm	: 51%	571,0	gram	1097	gram
Filler	: 2%	22,4	gram	1120	gram
Total		1200	gram	1200	gram

Tabel 4.19 Komposisi Berat untuk variasi kadar aspal 7,2%

Variasi 4					
Kadar Aspal Rencana		7,2	%	Kumulatif Agregat	
Berat Sampel		1200	gram		
Berat Kadar Aspal		86,4	gram		
Berat agg. Kasar (10-10)mm	: 23%	256,1	gram	256,1	gram
Berat agg. Sedang (5-10)mm	: 24%	267,3	gram	523,4	gram
Berat agg. Halus (0-5)mm	: 51%	567,9	gram	1091	gram
Filler	: 2%	22,3	gram	1114	gram
Total		1200	gram	1200	gram

Tabel 4.20 Komposisi Berat untuk variasi kadar aspal 7,7%

Variasi 5					
Kadar Aspal Rencana		7,7	%	Kumulatif Agregat	
Berat Sampel		1200	gram		
Berat Kadar Aspal		92,4	gram		
Berat agg. Kasar (10-10)mm	: 23%	254,7	gram	254,7	gram
Berat agg. Sedang (5-10)mm	: 24%	265,8	gram	520,6	gram
Berat agg. Halus (0-5)mm	: 51%	564,9	gram	1085	gram
Filler	: 2%	22,2	gram	1108	gram

Total	1200	gram	1200	gram
-------	------	------	------	------

4.5 Pengujian Benda Uji

Pengujian benda uji terdiri dari perhitungan *density* atau kepadatan, Marshall test, dan perhitungan rongga pada sampel. Pada proses pengujian tebagi 2 tahap yaitu pengujian benda uji aspal konvensional lalu berikutnya ialah benda uji aspal modifikasi. Pada pelaksanaan di laboratorium menggunakan alat *marshall test* manual. Berikut hasil pengujian benda uji :

4.5.1 Pengujian Marshall Benda Aspal Konvensional

Benda uji aspal konvensional ini menggunakan aspal pertamina dengan nilai penetrasi 60/70 dan jumlah tumbukan sesuai spesifikasi standar yaitu sebesar 2x50 tumbukan. Untuk komposisi campuran sesuai dengan perhitungan desain yang telah dibahas sebelumnya. Pengujian pada benda uji aspal konvensional ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum yang akan digunakan sebagai acuan dalam membuat benda uji aspal modifikasi. Hasil pengujian benda uji aspal konvensional sebagai berikut :

a. Density

Pengujian *density* ini bertujuan untuk mengetahui nilai kepadatan benda uji berdasarkan nilai berat kering, berat dalam air dan berat SSD. Perhitungan *density* menggunakan rumus :

$$\frac{\text{berat kering}}{\text{berat SSD} - \text{berat dalam air}}$$

Dari rumus tersebut didapatkan nilai kepadatan dari setiap variasi kadar optimum rencana. Berikut nilai kepadatan tiap variasi :

Tabel 4.21 Nilai *density* kadar aspal 5,7%

Kadar Aspal Rencana = 5,7%					
No.	Kode Aspal	Berat Kering	Berat dalam Air	Berat SSD	Berat Jenis Campuran
		gr	gr	gr	
Kadar Aspal = 5,7%		Kadar Plastik = 0%			Kadar Karet = 0%
1.	WK1	1176,6	679,9	1218,1	2,19
2.	WK2	1176,8	684,1	1210,8	2,23
3.	WK3	1173,4	681,2	1218,6	2,18
Rata -rata		1175,6	681,73	1215,83	2,20

Tabel 4.22 Nilai *density* kadar aspal 6,2%

Kadar Aspal Rencana = 6,2%					
No.	Kode Aspal	Berat Kering	Berat dalam Air	Berat SSD	Berat Jenis Campuran
		Gr	gr	gr	
Kadar Aspal = 6,2%		Kadar Plastik = 0%			Kadar Karet = 0%
1.	WK1	1195,2	688,2	1227	2,22
2.	WK2	1184,8	683,4	1227,6	2,18
3.	WK3	1187,9	698,6	1219,2	2,28
Rata -rata		1189,3	690,07	1224,60	2,23

Tabel 4.23 Nilai *density* kadar aspal 6,7%

Kadar Aspal Rencana = 6,7%						
No.	Kode Aspal	Berat Kering	Berat dalam Air	Berat SSD	Berat Jenis Campuran	
		gr	gr	gr		
Kadar Aspal = 6,7%		Kadar Plastik = 0%			Kadar Karet = 0%	

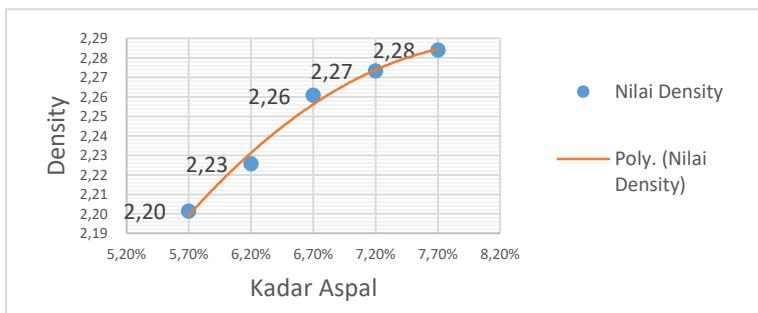
1.	WK1	1185,8	680,7	1210,7	2,24
2.	WK2	1184,3	683	1206,8	2,26
3.	WK3	1188,6	685,5	1205,9	2,28
	Rata -rata	1186,2	683,07	1207,80	2,26

Tabel 4.24 Nilai *density* kadar aspal 7,2%

Kadar Aspal Rencana = 7,2%					
No.	Kode Aspal	Berat Kering	Berat dalam Air	Berat SSD	Berat Jenis Campuran
		gr	gr	Gr	
Kadar Aspal = 7,2%		Kadar Plastik = 0%		Kadar Karet = 0%	
1.	WK1	1179,4	675,5	1195,7	2,27
2.	WK2	1181,1	677,7	1199,3	2,26
3.	WK3	1176,3	677,4	1191,4	2,29
	Rata -rata	1178,9	676,87	1195,47	2,27

Tabel 4.25 Nilai *density* kadar aspal 7,7%

Kadar Aspal Rencana = 7,7%					
No.	Kode Aspal	Berat Kering	Berat dalam Air	Berat SSD	Berat Jenis Campuran
		gr	gr	gr	
Kadar Aspal = 7,7%		Kadar Plastik = 0%		Kadar Karet = 0%	
1.	WK1	1184,1	678,8	1198,2	2,28
2.	WK2	1183,2	678,2	1195,3	2,29
3.	WK3	1186,3	678,3	1197,7	2,28
	Rata -rata	1184,5	678,43	1197,07	2,28



Gambar 4.5.1 Grafik *density* benda uji aspal konvensional

Dari hasil pengujian nilai *density* atau kepadatan ini dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya nilai kadar aspal dapat meningkatkan nilai kepadatan campuran aspal. Sesuai dengan peraturan umum bina marga 2018, untuk spesifikasi campuran hrs-wc memiliki nilai minimum untuk *density* sebesar 2,2.

b. Stabilitas

Menurut Peraturan Umum Bina Marga 2018, nilai stabilitas minimum untuk tipe perkerasan HRS-WC yaitu sebesar 600 kg. Nilai stabilitas ini didapat melalui pengujian dengan menggunakan alat *marshall test* manual dengan faktor pengali pivot sebesar 32,92 lb dan faktor koreksi sebesar 0,54. Menurut Peraturan Umum Bina Marga 2018, nilai stabilitas minimum untuk tipe perkerasan HRS-WC yaitu sebesar 600 kg. Sehingga dalam perhitungan stabilitas ini menggunakan rumus :

Stabilitas = nilai arloji x faktor pengali pivot x faktor koreksi

Berikut hasil nilai stabilitas pada pengujian benda uji aspal konvensional :

Tabel 4.26 Nilai Stabilitas (kg) kadar aspal rencana 5,7%

No.	Kode Aspal	Berat Kering	Berat dalam Air	Berat SSD	Berat Jenis Campuran	Stabilitas			
		gr	gr	gr		Arloji	Pivot	FK	Kg
Kadar Aspal = 5,7%		Kadar Plastik = 0%				Kadar Karet = 0%			
1.	WK1	1176,6	679,9	1218,1	2,19	99,5	32,92	0,54	1769,37
2.	WK2	1176,8	684,1	1210,8	2,23	91,8	32,92	0,54	1631,43
3.	WK3	1173,4	681,2	1218,6	2,18	87,2	32,92	0,54	1550,32
Rata -rata		1175,6	681,73	1215,83	2,20				1650,37

Tabel 4.27 Nilai Stabilitas (kg) kadar aspal rencana 6,2%

No.	Kode Aspal	Berat Kering	Berat dalam Air	Berat SSD	Berat Jenis Campuran	Stabilitas			
		gr	gr	gr		Arloji	Pivot	FK	Kg
Kadar Aspal = 6,2%		Kadar Plastik = 0%				Kadar Karet = 0%			
1.	WK1	1195,2	688,2	1227	2,22	87,7	32,92	0,54	1558,92
2.	WK2	1184,8	683,4	1227,6	2,18	114,4	32,92	0,54	2034,33
3.	WK3	1187,9	698,6	1219,2	2,28	77,8	32,92	0,54	1382,76
Rata -rata		1189,3	690,07	1224,60	2,23				1658,67

Tabel 4.28 Nilai Stabilitas (kg) kadar aspal rencana 6,7%

No.	Kode Aspal	Berat Kering	Berat dalam Air	Berat SSD	Berat Jenis Campuran	Stabilitas			
		gr	gr	gr		Arloji	Pivot	FK	Kg
Kadar Aspal = 6,7%		Kadar Plastik = 0%				Kadar Karet = 0%			
1.	WK1	1185,8	680,7	1210,7	2,24	95,1	32,92	0,54	1690,05
2.	WK2	1184,3	683	1206,8	2,26	112,5	32,92	0,54	1999,78

3.	WK3	1188,6	685,5	1205,9	2,28	97,3	32,92	0,54	1730,33
Rata -rata		1186,2	683,07	1207,80	2,26				1806,72

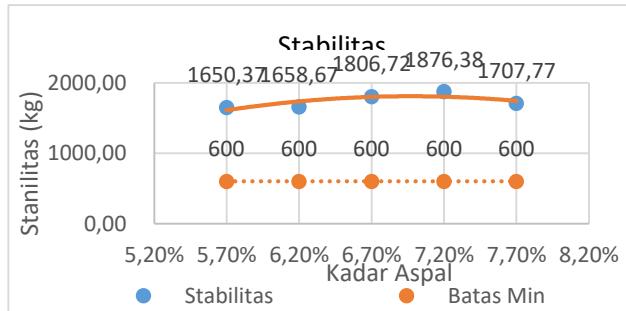
Tabel 4.29 Nilai Stabilitas (kg) kadar aspal rencana 7,2%

No.	Kode Aspal	Berat	Berat	Berat	Berat Jenis	Stabilitas				
		Kering	dalam Air	SSD		Campuran	Arloji	Pivot	FK	Kg
Kadar Aspal = 7,2%		Kadar Plastik = 0%				Kadar Karet = 0%				
1.	WK1	1179,4	675,5	1195,7	2,27		117,2	32,92	0,54	2083,61
2.	WK2	1181,1	677,7	1199,3	2,26		89,7	32,92	0,54	1595,18
3.	WK3	1176,3	677,4	1191,4	2,29		109,7	32,92	0,54	1950,36
Rata -rata		1178,9	676,87	1195,47	2,27					1876,38

Tabel 4.30 Nilai Stabilitas (kg) kadar aspal rencana 7,7%

No.	Kode Aspal	Berat	Berat	Berat	Berat Jenis	Stabilitas				
		Kering	dalam Air	SSD		Arloji	Pivot	FK	Kg	
Kadar Aspal = 7,7%		Kadar Plastik = 0%				Kadar Karet = 0%				
1.	WK1	1184,1	678,8	1198,2	2,28	86,6	32,92	0,54	1540,13	
2.	WK2	1183,2	678,2	1195,3	2,29	115,1	32,92	0,54	2046,99	
3.	WK3	1186,3	678,3	1197,7	2,28	86,4	32,92	0,54	1536,17	
Rata -rata		1184,5	678,43	1197,07	2,28					1707,77

Gambar 4.5.1.1 grafik stabilitas aspal konvensional



Berdasarkan perhitungan stabilitas dan grafik diatas, dapat disimpulkan bahwa setiap kadar aspal rencana memiliki nilai diatas nilai minimum sesuai Peraturan Umum bina Marga 2018. Dan nilai stabilitas tertinggi didapatkan pada nilai campuran 7,2% dengan nilai stabilitas sebesar 1876,38 Kg.

c. *Flow*

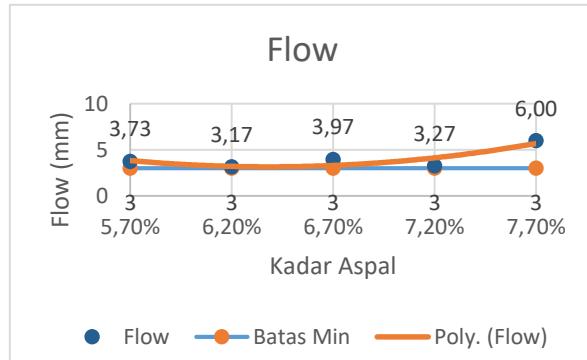
flow atau keleahan menurut buku panduan manual perkerjaan campuran aspal panas, nilai minimum untuk keleahan yaitu sebesar 3. Dari nilai flow ini menjadi nilai penentu apakah perkerasan yang direncanakan akan terjadi *bleeding* atau tidak. Nilai flow ini didapat dari hasil pengujian marshall. Berikut hasil rekapitulasi nilai flow untuk campuran aspal konvensional :

Tabel 4.31 rekapitulasi nilai *flow*

No.	Kode Aspal	Flow
		(Kelehan)
Kadar Aspal = 5,7%		
1.	WK1	5,3
2.	WK2	4,1
3.	WK3	4
Rata –rata		4,47
No.	Kode Aspal	Flow
		(Kelehan)
Kadar Aspal = 6,2%		
1.	WK1	3,3
2.	WK2	4,5
3.	WK3	3,8
Rata –rata		3,87
No.	Kode Aspal	Flow

		(Keleahan)
Kadar Aspal = 6,7%		
1.	WK1	4,3
2.	WK2	4,6
3.	WK3	3
Rata –rata		3,97
No.	Kode Aspal	Flow
		(Keleahan)
Kadar Aspal = 7,2%		
1.	WK1	3,6
2.	WK2	3,1
3.	WK3	3,4
Rata –rata		3,37
No.	Kode Aspal	Flow
		(Keleahan)
Kadar Aspal = 7,7%		
1.	WK1	6,1
2.	WK2	5,4
3.	WK3	6,5
Rata –rata		6

Gambar 4.5.1.2 grafik nilai flow aspal konvensional



Pada rekapitulasi pengujian benda uji untuk mengetahui nilai flow tersebut dapat

disimpulkan bahwa setiap kadar aspal rencana pada campuran memiliki nilai kelebihan diatas standar minimum spesifikasi. Untuk nilai flow tertinggi terdapat pada campuran aspal dengan kadar aspal sebesar 7,7%.

d. *Marshall Quotient*

Marshall Quotient menurut fatih hattatoglu ialah nilai ketahanan terhadap deformasi permanen yang terjadi pada campuran aspal. Nilai rasio *marshall quotient* ini didapat dari perbandingan antara nilai stabilitas aspal dengan flow. Sehingga dapat dirumuskan bahwa :

$$MQ = \frac{\text{Stabilitas}}{\text{flow}}$$

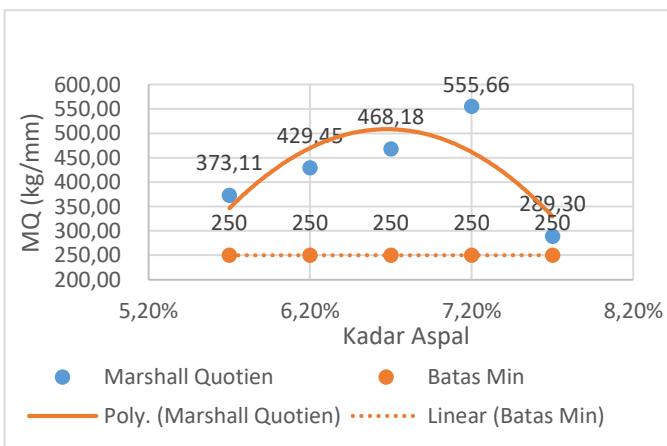
Menurut Peraturan Umum Bina Marga 2018, nilai standar minimum *marshall quotient* untuk campuran hrs-wc yaitu sebesar 250. Berikut rekapitulasi hasil perhitungan nilai *marshall quotient* (MQ).

Tabel 4.32 Rekapitulasi nilai *Marshall Quotient*

No.	Kode Aspal	MQ
Kadar Aspal = 5,7%		
1.	WK1	333,84
2.	WK2	397,91
3.	WK3	387,58
Rata -rata		373,11
No.	Kode Aspal	MQ
Kadar Aspal = 6,2%		
1.	WK1	472,40
2.	WK2	452,07
3.	WK3	363,88
Rata -rata		429,45

No.	Kode Aspal	MQ
Kadar Aspal = 6,7%		
1.	WK1	393,03
2.	WK2	434,73
3.	WK3	576,78
Rata -rata		468,18
No.	Kode Aspal	MQ
Kadar Aspal = 7,2%		
1.	WK1	393,03
2.	WK2	434,73
3.	WK3	576,78
Rata -rata		468,18
No.	Kode Aspal	MQ
Kadar Aspal = 7,7%		
1.	WK1	578,78
2.	WK2	514,57
3.		

Marshall Quotient



Gambar 4.5.1.3 Grafik *Marshall Quotien* kadar aspal rencana

Dari hasil rekapitulasi tersebut, pada setiap variasi kadar aspal rencana memiliki nilai diatas nilai minimum spesifikasi hrs-wc. Pada campuran aspal dengan kadar rencana aspal sebesar 7,2% ini memiliki nilai tertinggi, sehingga untuk nilai kadar aspal rencana ini memiliki ketahanan terhadap deformasi yang paling baik diantara kadar aspal lainnya.

e. ***Void Mineral Agregat***

void mineral aggregate menurut manual pekerjaan campuran aspal panas yaitu rongga udara dan volume kadar aspal efektif yang dinyatakan dalam persen terhadap volume total benda uji. Perhitungan Volume agregat dihitung dari berat jenis bulk agregat. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung nilai VMA yaitu :

$$VMA = 100 - \frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{(100+pb)} \times 100$$

Contoh Perhitungan Gsb

$$Gsb = \frac{\frac{100}{\% \text{Agg}(10-10)}}{\frac{\text{BJ. Agg}(10-10)}{0,23}} + \frac{\frac{100}{\% \text{Agg}(5-10)}}{\frac{\text{BJ. Agg}(5-10)}{2,42987121}} + \frac{\frac{100}{\% \text{Agg}(0-5)}}{\frac{\text{BJ. Agg}(0-5)}{7}} + \frac{\frac{100}{\% \text{Agg filler}}}{\frac{\text{BJ. Agg filler}}{0,02}}$$

$$Gsb = \frac{\frac{100}{0,23}}{\frac{2,42987121}{7}} + \frac{\frac{100}{0,24}}{\frac{2,48}{2,48}} + \frac{\frac{100}{0,51}}{\frac{2,63}{2,63}} + \frac{\frac{100}{0,02}}{\frac{2,63}{2,63}}$$

$$= 2,541$$

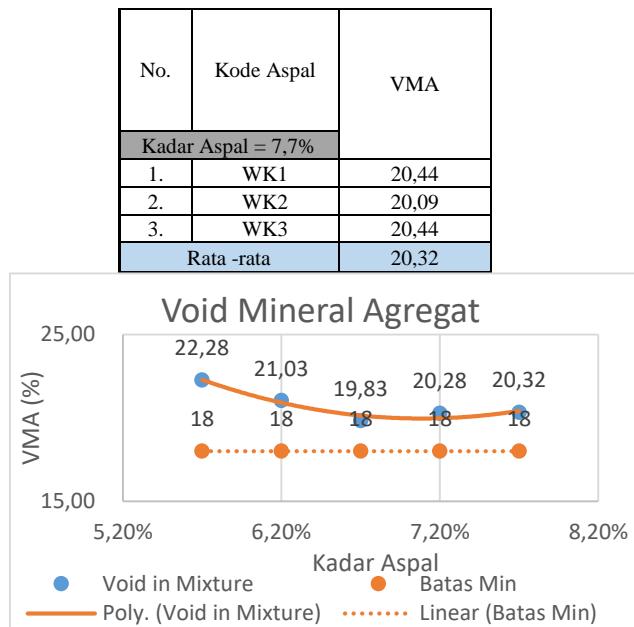
Contoh Perhitungan Gmb

$Gmb = \frac{\frac{100}{\% \text{Aggregat}}}{\frac{\text{Gsb}}{92,80}} + \frac{\frac{100}{\% \text{Aspal}}}{\frac{\text{BJ.Aspal}}{2,64}}$ $= \frac{\frac{100}{92,80}}{\frac{2,64}{1,067989047}} + \frac{\frac{100}{7,20 \%}}{\frac{1,067989047}{1,067989047}}$ $= 2,390$

Berikut hasil rekapitulasi perhitungan VMA :

Tabel 4.33 Rekapitulasi nilai VMA aspal konvensional

No.	Kode Aspal	VMA
Kadar Aspal = 5,7%		
1.	WK1	21,92
2.	WK2	20,50
3.	WK3	22,28
Rata -rata		22,28
No.	Kode Aspal	VMA
Kadar Aspal = 6,2%		
1.	WK1	21,27
2.	WK2	19,14
3.	WK3	22,69
Rata -rata		21,03
No.	Kode Aspal	VMA
Kadar Aspal = 6,7%		
1.	WK1	20,28
2.	WK2	19,62
3.	WK3	19,58
Rata -rata		19,83
No.	Kode Aspal	VMA
Kadar Aspal = 7,2%		
1.	WK1	20,71
2.	WK2	20,46
3.	WK3	19,66
Rata -rata		20,28



Gambar 4.5.1.4 Grafik rekapitulasi nilai VMA aspal konvensional

Dari data tersebut menunjukkan bahwa setiap variasi kadar aspal rencana memiliki nilai diatas nilai minimum spesifikasi sebesar 18 untuk campuran aspal hrs-wc. Pada campuran aspal sebesar 6,7% memiliki nilai VMA terkecil sehingga campuran 6,7% memiliki nilai rongga agregat yang sedikit.

f. *Void In Mixture*

Void in mixture menurut manual pekerjaan campuran aspal panas ialah volume total rongga yang berada diantara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam satuan campuran yang telah dipadatkan, dinyatakan dengan persen

volume bulk suatu campuran. Nilai VIM sendiri memiliki parameter yang sesuai dengan campuran hrs-wc menurut peraturan umum bina marga 2018 yaitu antara 4-6%. Adapun perumusan untuk menghitung nilai VIM yaitu sebagai berikut :

$$VIM = 100 \times \frac{Gmm - Gmb}{Gmm}$$

Contoh perhitungan BJ teoritis maksimum

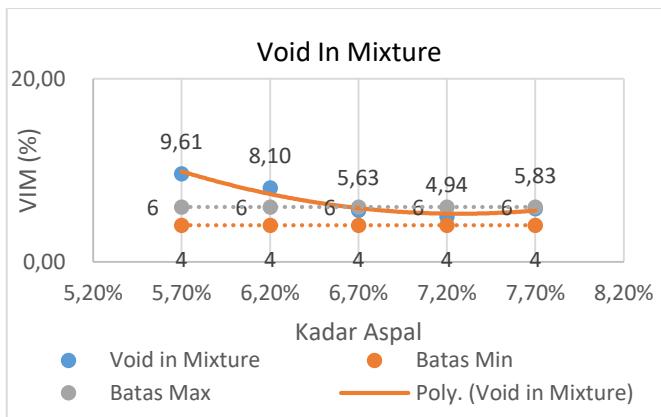
BJ Teori Maximum (Gmm)	= $\frac{100}{\frac{\% \text{ Agregat}}{\text{Gse}} + \frac{\% \text{ Aspal}}{\text{BJ.Aspal}}}$
	$= \frac{100}{\frac{92,80}{2,64} + \frac{7,20 \%}{1,067989047}}$
	= 2,390

Dengan perhitungan Gmb berdasarkan hasil VMA maka diketahui setiap variasi kadar aspal memiliki kadar rongga dalam campuran sebagai berikut :

Tabel 4.34 Rekapitulasi nilai VIM aspal konvensional

No.	Kode Aspal	VIM
Kadar Aspal = 5,7%		
1.	WK1	10,22
2.	WK2	8,58
3.	WK3	10,63
Rata -rata		9,61
No.	Kode Aspal	VIM

Kadar Aspal = 6,2%		
1.	WK1	8,37
2.	WK2	5,9
3.	WK3	10,02
Rata -rata		8,1
No.	Kode Aspal	VIM
Kadar Aspal = 6,7%		
1.	WK1	6,09
2.	WK2	5,55
3.	WK3	5,26
Rata -rata		5,63
No.	Kode Aspal	VIM
Kadar Aspal = 7,2%		
1.	WK1	5,46
2.	WK2	5,16
3.	WK3	4,2
Rata -rata		4,94
No.	Kode Aspal	VIM
Kadar Aspal = 7,7%		
1.	WK1	3,98
2.	WK2	9,53
3.	WK3	3,98
Rata -rata		5,83



Gambar 4.5.1.5 Grafik nilai VIM aspal konvensional

Dari data tersebut menunjukkan bahwa campuran aspal dengan kadar aspal 5,7% dan 6,2% memiliki nilai melebihi batas atas parameter spesifikasi, lalu pada kadar aspal 6,7%, 7,2% dan 7,7% memiliki nilai yang tidak melebihi parameter spesifikasi baik batas atas maupun batas atas spesifikasi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa campuran aspal dengan kadar aspal 6,7%, 7,2% dan 7,7% dapat menjadi rekomendasi untuk pembuatan aspal modifikasi berdasarkan data diatas.

g. *Void Filled asphalt (VFA atau VFB)*

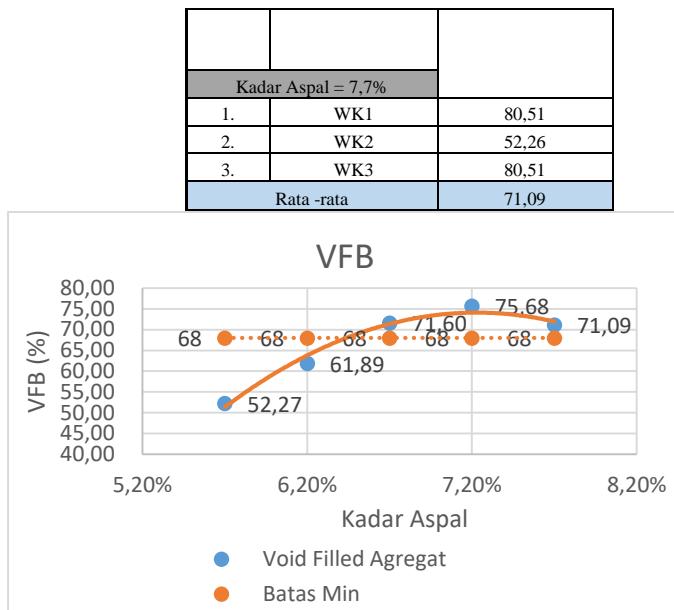
void filled asphalt menurut manual pekerjaan campuran aspal panas yaitu bagian rongga diantara mineral agregat (VMA) yang terisi oleh aspal efektif yang dinyatakan dalam persen. Berdasarkan spesifikasi peraturan umum bina marga 2018 nilai VFA atau VFB untuk campuran aspal hrs-wc yaitu minimal sebesar 68% dari keseluruhan VMA. Adapun rumus untuk menghitung nilai VFA atau VFB yaitu :

$$\mathbf{VFA} = \frac{100(\text{VMA} - \text{VIM})}{Gmm}$$

Berdasarkan data VMA dan VIM yang telah dihitung sebelumnya didapatkan nilai VMA, VIM dan Gmm untuk setiap kadar aspal rencana. Dari data tersebut didapatkan nilai untuk VFA atau VFB untuk setiap kadar aspal rencana sebagai berikut :

Tabel 4.35 Rekapitulasi nilai VFB aspal konvensional

No.	Kode Aspal	VFB
Kadar Aspal = 5,7%		
1.	WK1	53,37
2.	WK2	58,12
3.	WK3	52,27
Rata -rata		52,27
No.	Kode Aspal	VFB
Kadar Aspal = 6,2%		
1.	WK1	60,64
2.	WK2	69,2
3.	WK3	55,83
Rata -rata		61,89
No.	Kode Aspal	VFB
Kadar Aspal = 6,7%		
1.	WK1	69,97
2.	WK2	71,7
3.	WK3	73,14
Rata -rata		71,60
No.	Kode Aspal	VFB
Kadar Aspal = 7,2%		
1.	WK1	73,65
2.	WK2	74,76
3.	WK3	78,62
Rata -rata		75,68
No.	Kode Aspal	VFB



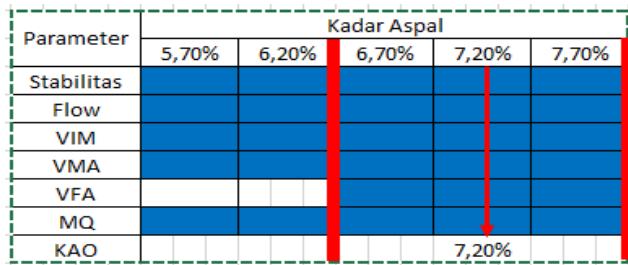
Gambar 4.5.1.6 Grafik nilai VFB aspal konvensional

Berdasarkan data tersebut, dengan nilai batas minimum spesifikasi untuk hrs-wc sebesar 68%, maka untuk kadar aspal rencana 5,7% dan 6,2% yang memiliki nilai dibawah nilai minimum tidak dapat dijadikan sebagai rekomendasi untuk membuat benda uji aspal modifikasi. Nilai VFB tertinggi didapatkan pada kadar aspal rencana 7,2% dan nilai variasi kadar aspal yang dapat direkomendasikan untuk pembuatan benda uji aspal modifikasi yaitu campuran aspal dengan kadar aspal rencana 6,7%, 7,2% dan 7,7%.

4.5.2 Pengujian Marshall Benda Uji Aspal Modifikasi

Berdasarkan data pengujian marshall benda uji aspal konvensional didapatkan hasil nilai kadar aspal

optimum (KAO) yang dapat digunakan untuk pembuatan benda uji aspal aspal modifikasi. Berdasarkan hasil tiap aspek dalam pengujian marshall, nilai kadar aspal rencana yang direkomendasikan yaitu dengan kadar aspal 6,7%, 7,2% dan 7,7%. Namun padar kadar aspal sebesar 7,2% memiliki nilai rongga dalam campuran terkecil dibuktikan dari hasil perhitungan nilai VIM dan memiliki penyerapan terhadap aspal dengan nilai tertinggi berdasarkan hasil perhitungan nilai VFB. Sehingga dalam pembuatan benda uji aspal modifikasi ini menggunakan variasi kadar aspal optimum (KAO) sebesar 7,2%. Berikut hasil pengujian marshall aspal modifikasi dengan kadar aspal 7,2% :



Gambar 4.5.2.1 Penentuan KAO

Tabel 4.36 Komposisi aspal modifikasi 2%

Komposisi Agregat		A = 7,2%	Berat Sampel = 3000 gram		
No. Ayakan		Lolos %	Tertahan %	Berat Agregat	Berat Agregat kumulatif
3/4"	19,1	100	0	0	0
1/2"	12,54	94,91	5,09	56,68	56,68
3/8"	9,5	82,98	11,93	132,81	189,49
No. 4	4,75	63,33	19,65	218,86	408,36
No. 8	2,36	50,71	12,62	140,49	548,84
No. 16	1,18	44,71	6,01	66,92	615,76
No. 30	0,6	36,48	8,23	91,65	707,41
No. 50	0,3	27,08	9,40	104,67	812,08
No. 100	0,15	16,79	10,29	114,58	926,66
No. 200	0,075	7,29	9,50	105,76	1032,41
Pan	0	0,00	7,29	81,19	1113,60
Berat Kadar Aspal				84,67	
Berat Agregat				1113,60	
Berat Karet 1%				0,86	
Berat Plastik 1%				0,86	
Berat Total Sampel				1198,27	
Kode Sampel M2%a-M2%c					

Tabel 4.37 Komposisi aspal modifikasi 4%

Variansi 2					
Komposisi Agregat		A = 7,2%	Berat Sampel = 1200 gram		
No. Ayakan		Lolos %	Tertahan %	Berat Agregat	Berat Agregat kumulatif
3/4"	19,1	100	0	0	0
1/2"	12,54	94,91	5,09	56,68	56,68
3/8"	9,5	82,98	11,93	132,81	189,49
No. 4	4,75	63,33	19,65	218,86	408,36
No. 8	2,36	50,71	12,62	140,49	548,84
No. 16	1,18	44,71	6,01	66,92	615,76
No. 30	0,6	36,48	8,23	91,65	707,41

No.					
50	0,3	27,08	9,40	104,67	812,08
No.					
100	0,15	16,79	10,29	114,58	926,66
No.					
200	0,075	7,29	9,50	105,76	1032,41
Pan	0	0	7,2904	81,1858944	1113,60
Berat Kadar Aspal					82,94
Berat Agregat					1113,60
Berat Karet 2%					1,73
Berat Plastik 2%					1,73
Berat Total Sampel					1196,54
Kode Sampel M4%a-M4%c					

Tabel 4.38 Komposisi aspal modifikasi 6%

Variasi 3					
Komposisi Agregat		A = 7,2%	Berat Sampel = 1200 gram		
No. Ayakan	Lolos %		Tertahan %	Berat Agregat	Berat Agregat kumulatif
3/4"	19,1	100	0	0	0
1/2"	12,54	94,91	5,09	56,68	56,68
3/8"	9,5	82,98	11,93	132,81	189,49
No. 4	4,75	63,33	19,65	218,86	408,36
No. 8	2,36	50,71	12,62	140,49	548,84
No. 16	1,18	44,71	6,01	66,92	615,76
No. 30	0,6	36,48	8,23	91,65	707,41
No. 50	0,3	27,08	9,40	104,67	812,08
No.					
100	0,15	16,79	10,29	114,58	926,66
No.					
200	0,075	7,29	9,50	105,76	1032,41
Pan	0	0,00	7,29	81,19	1113,60
Berat Kadar Aspal					81,22
Berat Agregat					1113,60
Berat Karet 3%					2,59
Berat Plastik 3%					2,59
Berat Total Sampel					1194,82
Kode Sampel M6%a-M6%c					

Tabel 4.39 Komposisi aspal modifikasi 8%

Variasi 4					
Komposisi Agregat		A = 7,2%	Berat Sampel = 1200 gram		
No. Ayakan	Lolos %	Tertahan %	Berat Agregat	Berat Agregat kumulatif	
3/4"	19,1	100	0	0	0
1/2"	12,54	94,91	5,09	56,68	56,68
3/8"	9,5	82,98	11,93	132,81	189,49
No. 4	4,75	63,33	19,65	218,86	408,36
No. 8	2,36	50,71	12,62	140,49	548,84
No. 16	1,18	44,71	6,01	66,92	615,76
No. 30	0,6	36,48	8,23	91,65	707,41
No. 50	0,3	27,08	9,40	104,67	812,08
No. 100	0,15	16,79	10,29	114,58	926,66
No. 200	0,075	7,29	9,50	105,76	1032,41
Pan	0	0,00	7,29	81,19	1113,60
Berat Kadar Aspal					79,49
Berat Agregat					1113,60
Berat Karet 4%					3,46
Berat Plastik 4%					3,46
Berat Total Sampel					1193,09
Kode Sampel M8%a-M8%c					

Tabel 4.40 Komposisi aspal modifikasi 10%

Variasi 5					
Komposisi Agregat		A = 7,2%	Berat Sampel = 1200 gram		
No. Ayakan	Lolos %	Tertahan %	Berat Agregat	Berat Agregat kumulatif	
3/4"	19,1	100	0	0	0
1/2"	12,54	94,91	5,09	56,68	56,68
3/8"	9,5	82,98	11,93	132,81	189,49
No. 4	4,75	63,33	19,65	218,86	408,36
No. 8	2,36	50,71	12,62	140,49	548,84
No. 16	1,18	44,71	6,01	66,92	615,76
No. 30	0,6	36,48	8,23	91,65	707,41
No. 50	0,3	27,08	9,40	104,67	812,08
No. 100	0,15	16,79	10,29	114,58	926,66
No. 200	0,075	7,29	9,50	105,76	1032,41
Pan	0	0,00	7,29	81,19	1113,60
Berat Kadar Aspal					77,76
Berat Agregat					1113,60
Berat Karet 5%					4,32
Berat Plastik 5%					4,32
Berat Total Sampel					1191,36
Kode Sampel M10%a-M10%c					

a. Denisty

Pengujian *density* ini bertujuan untuk mengetahui nilai kepadatan benda uji berdasarkan nilai berat kering, berat dalam air dan berat SSD. Perhitungan *density* menggunakan rumus :

$$\frac{\text{berat kering}}{\text{berat SSD} - \text{berat dalam air}}$$

Dari rumus tersebut didapatkan nilai kepadatan dari setiap variasi kadar optimum rencana. Berikut

nilai kepadatan tiap variasi penambahan karet dan plastik :

Tabel 4.41 Nilai *density* aspal modifikasi 2%

No.	Kode Aspal	Berat Kering	Berat dalam Air	Berat SSD	Berat Jenis Campuran
		gr	gr	gr	
Kadar Aspal = 7,2%		Kadar Plastik = 1%	Kadar Karet = 1%		
1.	M2%a	1190,5	672,8	1195,7	2,28
2.	M2%b	1185	660,4	1200,1	2,20
3.	M2%c	1181,6	659,3	1193,4	2,21
Rata -rata		1185,7	664,17	1196,40	2,23

Tabel 4.42 Nilai *density* aspal modifikasi 4%

No.	Kode Aspal	Berat Kering	Berat dalam Air	Berat SSD	Berat Jenis Campuran
		gr	gr	gr	
Kadar Aspal = 7,2%		Kadar Plastik = 2%		Kadar Karet = 2%	
1.	M4%a	1179,1	651,1	1195,7	2,17
2.	M4%b	1187,3	660,2	1209,6	2,16
3.	M4%c	1184,4	658,8	1197,1	2,20
Rata -rata		1183,6	656,70	1200,80	2,18

Tabel 4.43 Nilai *density* aspal modifikasi 6%

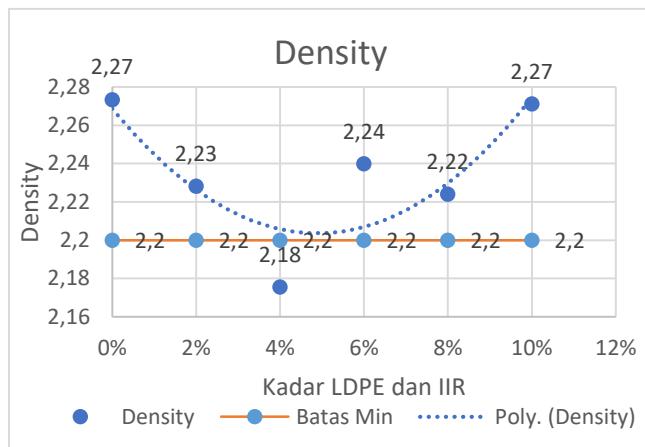
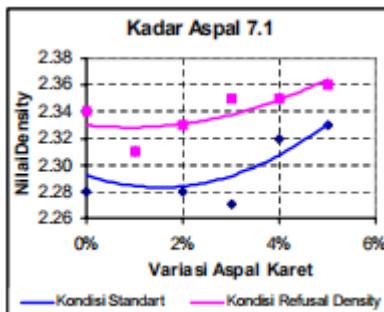
No.	Kode Aspal	Berat Kering	Berat dalam Air	Berat SSD	Berat Jenis Campuran
		gr	gr	gr	
Kadar Aspal = 7,2%		Kadar Plastik = 3%		Kadar Karet = 3%	
1.	M6%a	1185	655,4	1176,3	2,27
2.	M6%b	1179,8	661,2	1193,4	2,22
3.	M6%c	1180,1	659,9	1189,6	2,23
Rata -rata		1181,6	658,83	1186,43	2,24

Tabel 4.44 Nilai *density* aspal modifikasi 8%

No.	Kode Aspal	Berat Kering	Berat dalam Air	Berat SSD	Berat Jenis Campuran
		gr	gr	gr	
Kadar Aspal = 7,2%		Kadar Plastik = 4%			Kadar Karet = 4%
1.	M8%a	1175	653,2	1180,1	2,23
2.	M8%b	1188,6	662,3	1197,4	2,22
3.	M8%c	1190,6	665,8	1201,9	2,22
Rata -rata		1184,7	660,43	1193,13	2,22

Tabel 4.45 Nilai *density* aspal modifikasi 10%

No.	Kode Aspal	Berat Kering	Berat dalam Air	Berat SSD	Berat Jenis Campuran
		gr	gr	gr	
Kadar Aspal = 7,2%		Kadar Plastik = 5%			Kadar Karet = 5%
1.	M10%a	1193,8	681,4	1204,8	2,28
2.	M10%b	1190,6	675,2	1202,6	2,26
3.	M10%c	1186,4	673,8	1195,3	2,27
Rata -rata		1190,3	676,80	1200,90	2,27

Gambar 4.5.2.2 Grafik *density* aspal modifikasiGambar 4.5.2.3 Grafik *density* aspal karet

Berdasarkan data *density* diatas, penambahan kadar zat aditif memengaruhi tingkat kepadatan benda uji secara fluktuatif. Secara keseluruhan, nilai kepadatan setelah penambahan zat aditif cenderung menurun dibandingkan dengan nilai kadar aspal konvensional dan terjadi titik terendah yaitu pada kadar zat aditif sebesar 4% yang berada dibawah nilai spesifikasi. Lalu pada penambahan

zat aditif sebesar 10% memiliki nilai kepadatan yang mendekati nilai kepadatan aspal konvensional. Sehingga dapat disimpulkan bahwa setiap penambahan kadar zat aditif secara fluktuatif cenderung naik dengan harus memerhatikan beberapa faktor penting dalam pelaksanaan seperti pemanasan ataupun *mixing*. Dari hasil pengujian ini menunjukkan bahwa nilai *density* aspal modifikasi secara rata-rata menurun sebesar 3,9%.

Pada penelitian sebelumnya menunjukkan performa yang serupa yaitu pada setiap penambahan persentase zat aditif bernilai fluktuatif. Sehingga hal ini bersesuaian dengan hasil penelitian penulis ditinjau dari parameter nilai *density*.

b. Stabilitas

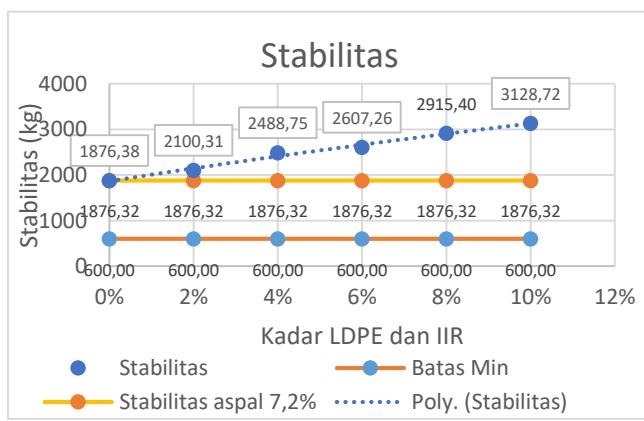
nilai stabilitas pada pengujian ini mengacu pada standar spesifikasi hrs-wc dan hasil pengujian aspal konvensional dengan nilai kadar aspal sebesar 7,2%. Dengan ini, nilai parameter untuk pengujian aspal modifikasi dengan batas minimum spesifikasi sebesar 600 kg dan nilai stabilitas campuran aspal 7,2% sebesar 1876,38 kg. Berikut rekapitulasi hasil pengujian stabilitas aspal modifikasi menggunakan alat penguji marshall manual.

Tabel 4.46 Rekapitulasi nilai stabilitas aspal modifikasi

No.	Kode Aspal	Stabilias
Zat aditif = 2%		Kg
1.	M2%a	2755,40
2.	M2%b	1595,18
3.	M2%c	1950,36
Rata -rata		2100,31
No.	Kode Aspal	Stabilias
Zat aditif = 4%		Kg
1.	M4%a	2577,64
2.	M4%b	2755,40
3.	M4%c	2133,22
Rata -rata		2488,75
No.	Kode Aspal	Stabilias
Zat aditif = 6%		Kg
1.	M6%a	2844,29
2.	M6%b	2399,87
3.	M6%c	2577,64
Rata -rata		2607,26
No.	Kode Aspal	Stabilias
Zat aditif = 8%		Kg
1.	M8%a	2933,17

2.	M8%b	3075,39
3.	M8%c	2737,63
Rata -rata		2915,40

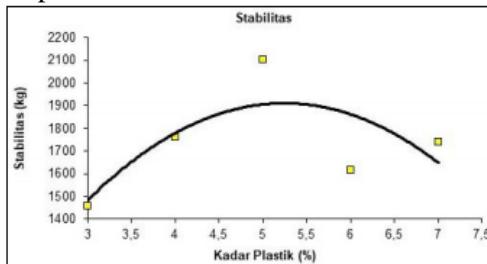
No.	Kode Aspal	Stabilias
Zat aditif = 10%		Kg
1.	M10%a	3199,82
2.	M10%b	3164,27
3.	M10%c	3022,06
Rata -rata		3128,72



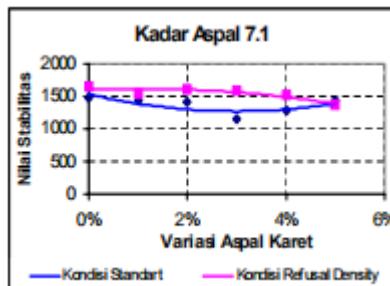
Gambar 4.5.2.4 Grafik nilai stabilitas aspal modifikasi

Berdasarkan data tersebut, setiap penambahan persentase zat aditif pada aspal akan meningkatkan nilai stabilitas pada campuran aspal. pada penambahan zat aditif ini secara keseluruhan melebihi nilai aspal konvensional. Sehingga dapat

disimpulkan bahwa penambahan zat aditif ini dapat dapat meningkatkan kualitas kekuatan campuran aspal secara keseluruhan.



Gambar 4.5.2.5 nilai stabilitas Aspal LDPE



Gambar 4.5.2.6 nilai stabilitas Aspal Karet

Pada penelitian sebelumnya, pada aspal LDPE menunjukkan nilai stabilitas dengan hasil persentase kadar optimum, lalu pada aspal karet menunjukkan hal yang sebaliknya. Hal ini tidak bersesuaian dengan hasil penelitian penulis, dimana hasil dari pengujian stabilitas memiliki nilai yang relatif naik pada setiap penambahan persentase zat aditif. Dapat disimpulkan bahwa penambahan LDPE beserta karet kedalam aspal memiliki dampak pada performa stabilitas campuran dimana kedua zat aditif ini saling mengimbangi sehingga

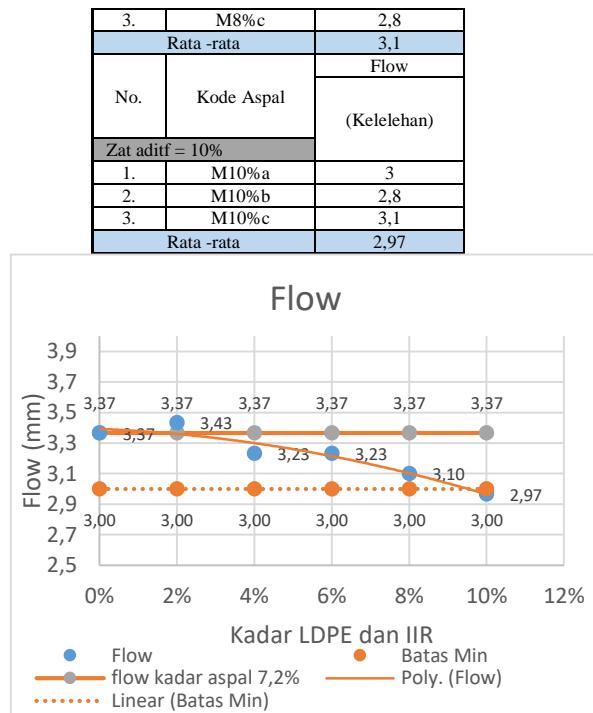
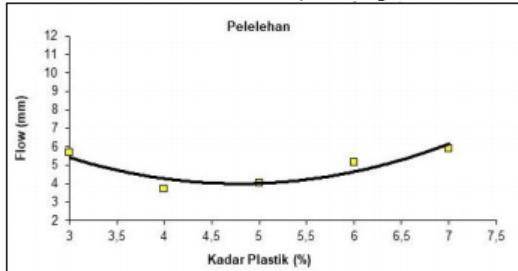
menimbulkan kenaikan secara konstan pada setiap penambahannya.

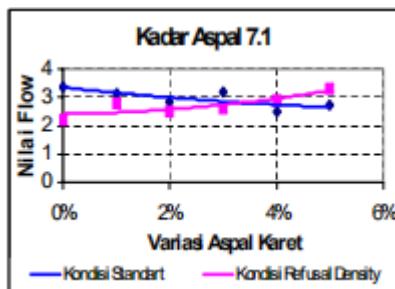
c. Flow

Diketahui dari pengujian benda uji aspal konvensional untuk nilai KAO sebesar 7,2% memiliki nilai *flow* sebesar 3,26 dan batas minimum *flow* untuk hrs-wc yaitu bernilai 3. Maka dalam pengujian aspal modifikasi ini memiliki parameter berdasarkan spesifikasi hrs-wc dan pengujian aspal konvensional dengan KAO 7,2%. Berikut hasil nilai *flow* dari pengujian benda uji aspal modifikasi :

Tabel 4.47 rekapitulasi nilai *flow* aspal modifikasi

No.	Kode Aspal	Flow	
		(Kelehan)	
Zat aditif = 2%			
1.	M2%a	3,6	
2.	M2%b	3,3	
3.	M2%c	3,4	
Rata -rata		3,43	
No.	Kode Aspal	Flow	
		(Kelehan)	
Zat aditif = 4%			
1.	M4%a	3,3	
2.	M4%b	3,5	
3.	M4%c	2,9	
Rata -rata		3,23	
No.	Kode Aspal	Flow	
		(Kelehan)	
Zat aditif = 6%			
1.	M6%a	3,2	
2.	M6%b	3,4	
3.	M6%c	3,1	
Rata -rata		3,23	
No.	Kode Aspal	Flow	
		(Kelehan)	
Zat aditif = 8%			
1.	M8%a	3,2	
2.	M8%b	3,3	

Gambar 4.5.2.7 Grafik nilai *flow* aspal modifikasiGambar 4.5.2.8 Grafik nilai *flow* aspal LDPE



Gambar 4.5.2.9 Grafik nilai *flow* aspal karet

Berdasarkan data pengujian benda uji aspal modifikasi, secara garis besar mengalami penurunan untuk setiap penambahan zat aditif. Namun, pada penambahan zat aditif sebesar 2% mengalami kenaikan dari benda uji aspal konvensional 7,2%. Lalu pada penambahan zat aditif sebesar 10% memiliki nilai dibawah parameter spesifikasi hrs-wc sehingga penambahan zat aditif sebesar 10% tidak direkomendasikan untuk diaplikasikan dilapangan. Dapat disimpulkan secara garis besar, bahwa penambahan zat aditif ini dapat menurunkan nilai *flow*, namun perlu diperhatikan untuk penambahan kadar zat aditif agar nilai *flow* yang dihasilkan tetap dalam parameter spesifikasi.

Dari penelitian sebelumnya pada campuran aspal modifikasi aspal LDPE menunjukkan nilai grafik yang cenderung meningkat seiring bertambahnya persentase zat aditif. Namun pada penelitian campuran aspal modifikasi karet menunjukkan nilai *flow* yang cenderung menurun seiring bertambahnya persentase karet. Dari performa tiap penelitian ini dapat disimpulkan bahwa hasil penelitian penulis bersesuaian dengan aspal modifikasi karet dan karakter yang dimiliki karet lebih dominan daripada LDPE.

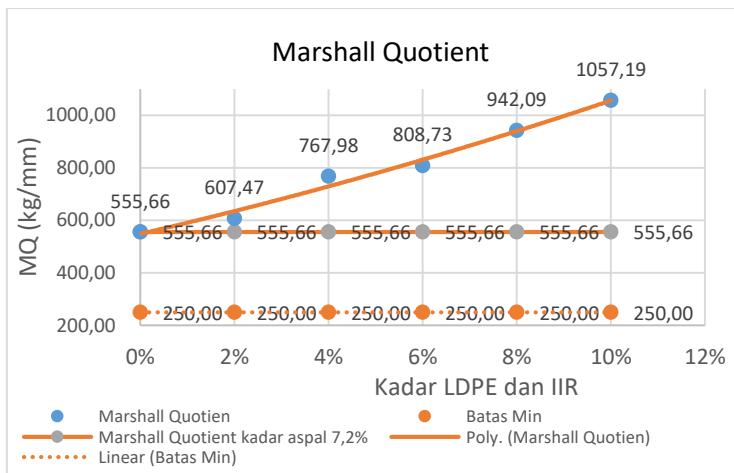
d. *Marshall Quotient*

Telah dibahas sebelumnya pada pengujian benda uji aspal konvensional terkait *marshall quotient*. Pada pengujian *marshall quotient* ini untuk membuktikan seberapa bagus tingkat resistensi benda uji aspal modifikasi terhadap deformasi yang terjadi akibat menerima daya tekan. Berikut rekapitulasi hasil perhitungan nilai *marshall quotient* untuk campuran aspal modifikasi:

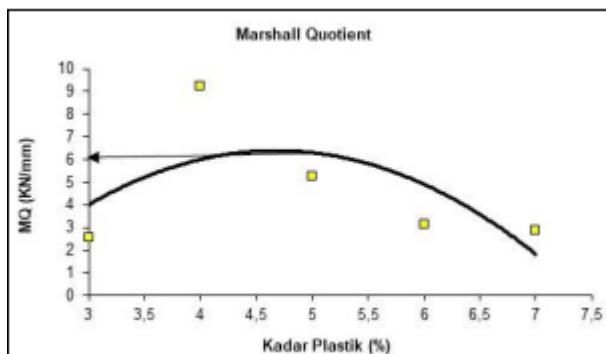
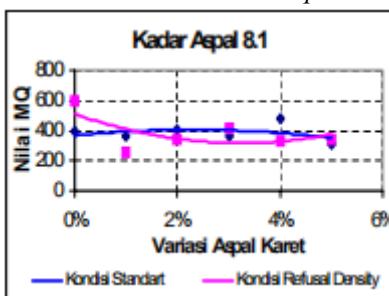
Tabel 4.48 Rekapitulasi nilai *marshall quotient* aspal modifikasi

No.	Kode Aspal	MQ
Zat aditif = 2%		
1.	M2%a	765,39
2.	M2%b	483,39
3.	M2%c	573,64
Rata -rata		607,47
No.	Kode Aspal	MQ
Zat aditif = 4%		
1.	M4%a	781,10
2.	M4%b	787,26
3.	M4%c	735,59
Rata -rata		767,98
No.	Kode Aspal	MQ
Zat aditif = 6%		
1.	M6%a	888,84
2.	M6%b	705,84

3.	M6%c	831,50
Rata -rata		808,73
No.	Kode Aspal	MQ
Zat aditif = 8%		
1.	M8%a	916,62
2.	M8%b	931,94
3.	M8%c	977,72
Rata -rata		942,09
No.	Kode Aspal	MQ
Zat Aditif = 10%		
1.	M10%a	1066,61
2.	M10%b	1130,10
3.	M10%c	974,86
Rata -rata		1057,19



Gambar 4.5.2.10 Grafik nilai marshall quotient aspal modifikasi

Gambar 4.5.2.11 Grafik nilai *marshall quotient* aspal LDPEGambar 4.5.2.12 Grafik nilai *marshall quotient* aspal karet

Berdasarkan data pengujian benda uji aspal modifikasi tersebut, diketahui bahwa penambahan zat aditif meningkat secara signifikan dari aspal konvensional 7,2%. Setiap penambahan kadar zat aditif sangat memungkinkan terjadi peningkatan nilai *marshall quotient*. Hal ini disebabkan karena meningkatnya nilai stabilitas benda uji campuran aspal dan diiringi oleh semakin menurunnya nilai *flow* setiap penambahan kadar zat aditif.

Dari hasil penelitian sebelumnya, nilai *marshall quotient* memiliki performa yang bersesuaian dengan nilai stabilitas dan *flow* campuran aspal. sehingga pada hasil penelitian penulis memiliki hasil yang tidak bersesuaian dengan penelitian

sebelumnya sebab dipengaruhi oleh nilai stabilitas yang cenderung meningkat dan nilai *flow* yang cenderung menurun.

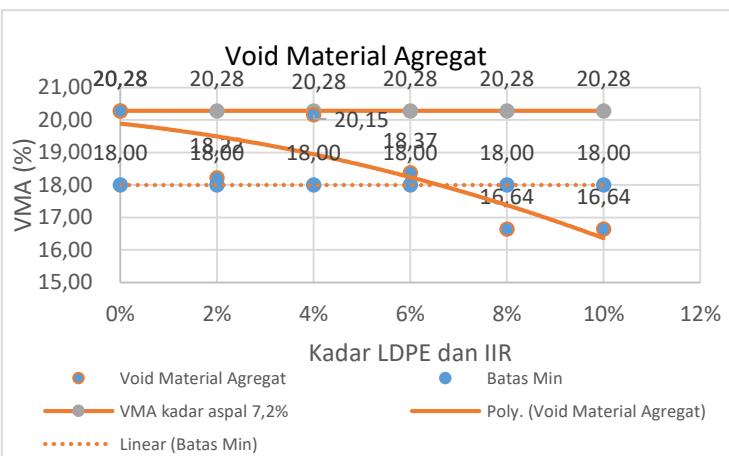
e. *Void Mineral Aggregate*

Telah diketahui pada pengujian benda uji aspal konvensional dengan nilai KAO sebesar 7,2% memiliki volume VMA sebesar 20,276% dan berdasarkan spesifikasi hrs-wc memiliki nilai volume VMA sebesar minimal 18%. Dari hasil tersebut menjadi parameter dalam perhitungan VMA untuk campuran aspal modifikasi. Berikut hasil rekapitulasi perhitungan nilai VMA campuran aspal modifikasi :

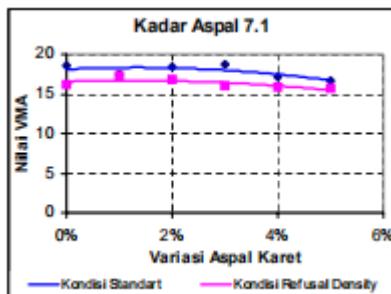
Tabel 4.49 Rekapitulasi nilai VMA aspal modifikasi

No.	Kode Aspal	VMA
Zat aditif = 2%		
1.	M2%a	16,44
2.	M2%b	19,41
3.	M2%c	18,80
Rata -rata		18,22
No.	Kode Aspal	VMA
Zat aditif = 4%		
1.	M4%a	20,53
2.	M4%b	20,68
3.	M4%c	19,24
Rata -rata		20,15
No.	Kode Aspal	VMA
Zat aditif = 6%		

1.	M6%a	16,50
2.	M6%b	18,63
3.	M6%c	18,23
Rata -rata		17,79
No.	Kode Aspal	VMA
Zat aditif = 8%		
1.	M8%a	18,15
2.	M8%b	18,47
3.	M8%c	18,48
Rata -rata		18,37
No.	Kode Aspal	VMA
Zat aditif = 10%		
1.	M10%a	16,28
2.	M10%b	17,14
3.	M10%c	16,50
Rata -rata		16,64



Gambar 4.5.2.13 Grafik nilai VMA aspal modifikasi



Gambar 4.5.2.14 Grafik nilai VMA aspal karet

Berdasarkan data pengujian benda uji aspal modifikasi, dengan semakin bertambahnya zat aditif pada campuran aspal maka semakin menurunnya nilai VMA pada campuran. Diketahui dari data tersebut, untuk penambahan 8% dan 10% penurunan volume VMA melewati batas parameter spesifikasi hrs-wc. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaplikasian lebih lanjut direkomendasikan untuk menggunakan campuran aspal modifikasi ini dengan kadar 2%, 4% dan 6% berdasarkan nilai VMA.

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, bahwa hasil nilai VMA penelitian penulis bersesuaian dengan penelitian sebelumnya. Hal ini didapati pada perfoma setiap penambahan persentase zat aditif.

f. *Void in Mixture*

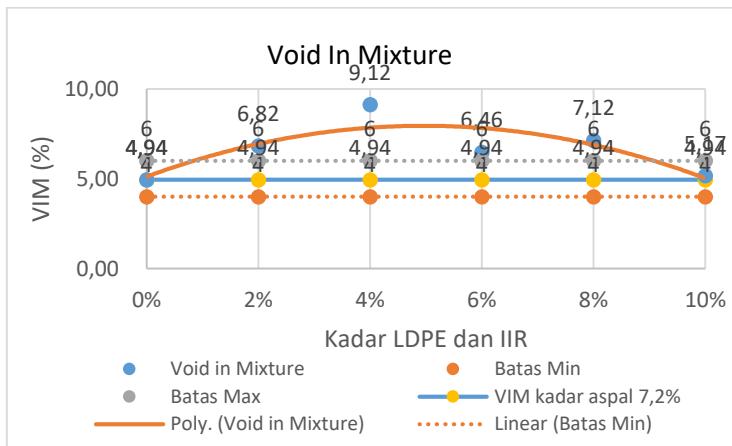
Diketahui pada pengujian benda uji aspal konvensional 7,2% memiliki volume VIM sebesar 4,94% dan untuk spesifikasi hrs-wc telah ditentukan pada Peraturan Umum Bina Marga 2018 yaitu 4-6%. Dari hasil tersebut menjadi parameter untuk perhitungan VIM pada benda uji campuran aspal modifikasi. Berikut rekapitulasi hasil

perhitungan nilai VIM pada benda uji campuran aspal modifikasi :

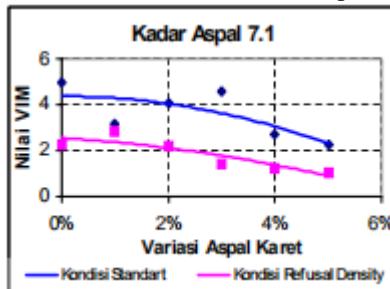
Tabel 4.50 Rekapitulasi perhitungan VIM aspal modifikasi

No.	Kode Aspal	VIM
Zat Aditif = 2%		
1.	M2%a	4,80
2.	M2%b	8,19
3.	M2%c	7,49
Rata -rata		6,82
No.	Kode Aspal	VIM
Zat Aditif = 4%		
1.	M4%a	10
2.	M4%b	10
3.	M4%c	8
Rata -rata		9,12
No.	Kode Aspal	VIM
Zat Aditif = 6%		
1.	M6%a	5
2.	M6%b	7
3.	M6%c	7
Rata -rata		6,46
No.	Kode Aspal	VIM
Zat Aditif = 8%		
1.	M8%a	7
2.	M8%b	7
3.	M8%c	7
Rata -rata		7,12

No.	Kode Aspal	VIM
Zat Aditif = 10%		
1.	M10%a	5
2.	M10%b	6
3.	M10%c	5
Rata - rata		5,17



Gambar 4.5.2.15 Grafik nilai VIM aspal modifikasi.



Gambar 4.5.2.16 Grafik nilai VIM aspal karet.

Berdasarkan data tersebut, diketahui bahwa mayoritas penambahan zat aditif ini meningkat dari nilai VIM benda uji aspal konvensional 7,2%.

Terlihat pada kadar zat aditif 2%, 4%, 6%, dan 8% memiliki volume VIM melebihi parameter spesifikasi hrs-wc menurut peraturan bina marga 2018. Namun, pada penambahan kadar zat aditif sebesar 10% memiliki nilai yang sesuai dengan parameter spesifikasi yaitu sebesar 5,17%.

Dari hasil penelitian sebelumnya, didapatkan bahwa performa hasil penelitian penulis tidak bersesuaian dengan hasil penelitian senelumnya. Hal ini disebabkan karena adanya kandungan LDPE yang sukar bercampur dengan bitumen sehingga terjadi pengumpalan yang dapat menghambat penyerapan dan menimbulkan kadar rongga yang besar juga.

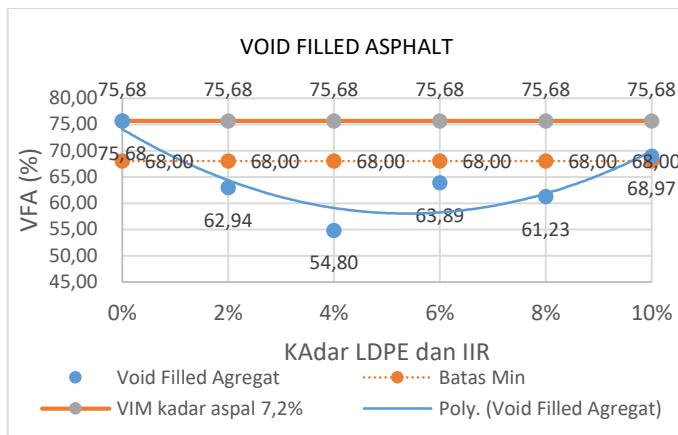
g. Void filled Asphalt (VFA atau VFB)

Diketahui dari data pengujian benda uji aspal konvensional 7,2% memiliki nilai volume VFB sebesar 75,68%. Pada spesifikasi hrs-wc sesuai Peraturan Umum Bina Marga 2018 nilai minimum untuk VFB pada campuran aspal hrs-wc yaitu sebesar 68%. Sehingga dari dua data ini menjadi parameter untuk perhitungan nilai VFB pada benda uji campuran aspal modifikasi. Berikut hasil rekapitulasi perhitungan nilai VFB pada campuran aspal modifikasi :

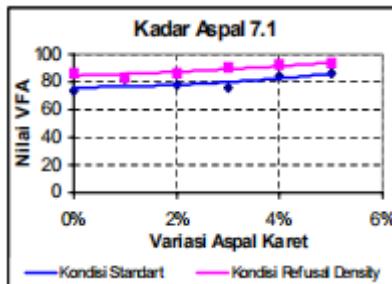
Tabel 4.51 Rekapitulasi nilai VFB aspal modifikasi

No.	Kode Aspal	VFB
Zat Aditif = 2%		
1.	M2%a	70,82
2.	M2%b	57,83

3.	M2%c	60,16
	Rata -rata	62,94
No.	Kode Aspal	VFB
Zat Aditif = 4%		
1.	M4%a	53,45
2.	M4%b	52,97
3.	M4%c	57,96
	Rata -rata	54,79
No.	Kode Aspal	VFB
Zat Aditif = 6%		
1.	M6%a	53,45
2.	M6%b	52,98
3.	M6%c	57,97
	Rata -rata	54,80
No.	Kode Aspal	VFB
Zat Aditif = 8%		
1.	M8%a	53,45
2.	M8%b	52,98
3.	M8%c	57,97
	Rata -rata	54,80
No.	Kode Aspal	VFB
Zat Aditif = 10%		
1.	M10%a	69,71
2.	M10%b	60,16
3.	M10%c	61,8
	Rata -rata	63,89



Gambar 4.5.2.16 Grafik nilai VFB aspal modifikasi



Gambar 4.5.2.17 Grafik nilai VFB aspal karet

Berdasarkan data tersebut, secara keseluruhan penambahan zat aditif mengalami penurunan dari volume VFB pada benda uji campuran aspal konvensional 7,2%. Berdasarkan parameter spesifikasi hrs-wc hanya penambahan zat aditif sebesar 10% yang memiliki nilai diatas nilai minimum spesifikasi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan zat aditif pada campuran aspal konvensional dapat menurunkan nilai VFB campuran secara fluktuatif dan memungkinkan menurunkan nilai VFB hingga dibawah nilai minimum spesifikasi.

Pada hasil penelitian sebelumnya, didapati hasil penelitian penulis dengan penelitian sebelumnya tidak bersesuaian dengan penelitian sebelumnya. Seperti yang dijelaskan pada hasil VMA, bahwa kandungan LDPE dapat menggumpalkan aspal sehingga pada pencampuran dengan agregat tidak optimal dan menimbulkan kurangnya kadar aspal yang terserap oleh agregat.

Dari keseluruhan pengujian benda uji aspal modifikasi, diketahui bahwa setiap penambahan kadar zat aditif berupa limbah plastik LDPE dan limbah karet IIR pada benda uji tidak dapat memenuhi parameter spesifikasi HRS-WC secara keseluruhan sesuai dengan Peraturan Umum Bina Marga 2018. Sesuai dengan data yang didapat bahwa penambahan zat aditif berupa limbah karet dan limbah plastik yang memenuhi sebagian besar spesifikasi HRS-WC yaitu dengan kadar zat aditif sebesar 2% dengan berat zat aditif sebesar 1,72 gram dan nilai KAO sebesar 7,2%. Dengan catatan bahwa penambahan 2% ini memiliki nilai melebihi parameter, dengan kata lain bahwa benda uji aspal modifikasi ini memiliki poros atau rongga dalam campuran yang cukup besar.

4.6 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Dari hasil pengujian benda uji aspal modifikasi yang telah didapatkan maka perlu adanya hasil pembanding dari penelitian sebelumnya. Membandingkan hasil penelitian yang telah dilakukan dengan penelitian sebelumnya ini bertujuan untuk membantu proses penelitian ini terutama dalam penarikan kesimpulan dari keseluruhan hasil penelitian. Perbandingan ini dilakukan dengan membandingkan hasil penelitian dengan penelitian aspal

modifikasi karet saja dan penelitian aspal modifikasi LDPE saja. Berikut hasil perbandingan data penelitian :

1. Rekapitulasi hasil penelitian sendiri

Tabel 4.52 Rekapitulasi hasil penelitian sendiri

Kadar Aspal	Parameter						
	Density	Stabilitas	Flow	MQ	VMA	VIM	VFB
2%	2,23	2100,31	3,43	607,47	18,22	6,82	62,94
4%	2,18	2488,75	3,23	767,98	20,15	9,12	54,80
6%	2,24	2607,26	3,23	808,73	17,79	6,46	63,89
8%	2,22	2915,40	3,10	942,09	18,37	7,12	61,23
10%	2,27	3128,72	2,97	1057,19	16,64	5,17	68,97
Spesifikasi standar	2,2	min. 600	min. 3	min. 250	min. 18	4-6	min. 68

2. Rekapitulasi hasil penelitian aspal modifikasi karet

Tabel 4.53 Rekapitulasi hasil penelitian aspal modifikasi karet

No	Karakteristik	Nilai	
		(2 x 75)	(2 x 400)
1	Density	2.28	2.33
2	VMA	18.35	16.75
3	VIM	4.09	2.21
4	VFA	77.74	86.79
5	Stabilitas	1403.00	1613.00
6	Flow	2.84	2.49
7	MQ	503.24	660.43
8	IRS	97.10	97.20

Sumber : jurnal penelitian pengaruh bahan tambahan karet padat karakteristik campuran hot rolled sheet (HRS-WC).

Nurhayati Darunifah. 2007

3. Rekapitulasi hasil penelitian aspal modifikasi LDPE

Tabel 4.54 Rekapitulasi hasil penelitian aspal modifikasi LDPE

Kadar Aspal (%)	Stabilitas Terkoreksi (kg)	Flow (mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Marshall Quotient (kg/mm)
3,0	1.657,628	5,10	1,013	16,701	100,467	3,187
3,0	1.428,990	6,90	0,559	16,319	103,291	2,030
3,0	1.286,091	5,00	1,646	17,234	96,737	2,522
4,0	1.345,086	4,60	1,050	16,733	100,240	2,867
4,0	1.457,570	5,50	0,327	16,124	104,782	2,598
4,0	2.486,443	1,10	1,736	17,310	96,223	22,161
5,0	2.062,465	4,70	-0,124	15,745	107,793	4,302
5,0	2.092,356	4,10	0,015	15,862	106,850	5,003
5,0	2.152,138	3,30	0,410	16,194	104,244	6,394
6,0	1.285,304	4,60	0,133	15,961	106,061	2,739
6,0	1.793,448	6,20	-0,572	15,368	110,931	2,836
6,0	1.771,948	4,60	0,963	16,659	100,771	3,777
7,0	1.673,885	5,40	2,047	17,571	94,495	3,039
7,0	1.600,469	5,70	3,040	18,407	89,290	2,753
7,0	1.942,902	6,60	1,365	16,998	98,363	2,886

Sumber : jurnal penelitian pengaruh peambahan plastik LDPE terhadap hasil Marshall untuk HRS-WC. Surat. 2019

Dari data tersebut, diketahui bahwa aspal modifikasi karet plastik memiliki nilai *flow* lebih tinggi dibandingkan aspal karet namun lebih rendah dibandingkan dengan aspal modifikasi LDPE. Pada parameter VIM, nilai aspal lebih tinggi dari aspal modifikasi karet maupun aspal modifikasi plastik. Untuk nilai VMA aspal modifikasi karet plastik memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan aspal modifikasi karet maupun aspal modifikasi plastik. Nilai VFB pada aspal karet plastik memiliki nilai lebih rendah dibandingkan aspal modifikasi karet maupun aspal modifikasi plastik.

4.7 Perbandingan Harga Material

Pada pembahasan berikut ini ialah hasil prakira awal bagaimana penambahan limbah plastik dan limbah karet ini memengaruhi harga material yang dipakai. Perbandingan ini dilakukan berdasarkan harga material yang dipakai dalam pengujian yaitu berupa agregat yang berasal dari wilayah mojokerto dan aspal pertamina dengan nilai penetrasi 60/70. Berikut hasil perhitungan perbandingan biaya pakai :

Tabel 4.55 Daftar harga material yang dipakai

Daftar Harga Material				
No.	Jenis Material	Satuan	Harga per satuan	Keterangan
1	Agregat 10-10	Ton	Rp72.000	Harga material quarry mojokerto
2	Agregat 5-10	Ton	Rp100.000	
3	Agregat 0-5	Ton	Rp120.000	
4	Aspal Pen.60/70	drum	Rp825.000	1 drum = 155kg
5	Limbah Plastik	kg	Rp0	limbah
6	Limbah Karet	kg	Rp0	limbah

Tabel 4.56 Rekapitulasi harga benda uji kovensional

Rencana Anggaran Biaya Benda Uji Konvensional					
No.	Jenis Material	Satuan	Harga per satuan	Berat Pakai (gr)	Cost
1	Agregat 10-10	Ton	Rp120.000	56,68	Rp7
2	Agregat 5-10	Ton	Rp100.000	597,85	Rp60
3	Agregat 0-5	Ton	Rp72.000	5756,77	Rp414
4	Aspal Pen.60/70	drum	Rp825.000	86,40	Rp460
5	Limbah Plastik	kg	Rp0	0	0
6	Limbah Karet	kg	Rp0	0	0
Total Biaya					Rp941

Tabel 4.57 Rekapitulasi harga benda uji modifikasi

Rencana Anggaran Biaya Benda Uji Modifikasi 10%					
No.	Jenis Material	Satuan	Harga per satuan	Berat Pakai (gr)	Cost
1	Agregat 10-10	Ton	Rp120.000	56,68	Rp7
2	Agregat 5-10	Ton	Rp100.000	597,85	Rp60
3	Agregat 0-5	Ton	Rp72.000	5756,77	Rp414
4	Aspal Pen.60/70	drum	Rp825.000	77,76	Rp414
5	Limbah Plastik	kg	Rp0	4,32	0
6	Limbah Karet	kg	Rp0	4,32	0
Total Biaya					Rp895

Tabel 4.58 Perbandingan harga benda uji

Perbandingan Harga Material			
	Aspal Konvensional	Aspal Modifikasi	Selisih %
Harga	Rp941	Rp895	4,89

Dari hasil perhitungan harga benda uji aspal konvensional dan modifikasi diketahui bahwa penambahan pada penambahan persentase 10% dapat mengurangi biaya material campuran sebesar 4,89%. Dari persentase ini apabila diaplikasikan di lapangan dapat mengurangi biaya yang cukup besar sebab skala aplikasi

lapangan jauh lebih besar apabilah dibandingkan dengan benda uji laboratorium.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilaksanakan, dimulai dari pemeriksaan material, pembuatan benda uji hingga pengujian marshall benda uji aspal modifikasi yang ditambahkan zat aditif berupa limbah plastik LDPE dan limbah karet IIR, maka dapat disimpulkan secara keseluruhan bahwa :

1. Telah ditinjau dari hasil pengujian kadar aspal optimum untuk perkerasan Lataston Lapis Aus (HRS-WC) dengan memenuhi parameter Marshall secara keseluruhan berdasarkan spesifikasi Peraturan Umum Bina Marga 2018 yaitu campuran aspal dengan kadar aspal optimum sebesar 7,2%.
2. Sesuai dengan berat kadar aspal optimum 7,2% dengan berat aspal sebesar 86,4 gram. Dihasilkan untuk setiap variasi penambahan zat aditif sebesar 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% yaitu sebesar 1,72 gram, 2,46 gram, 5,18 gram, 6,92 gram dan 8,64 gram.
3. Berdasarkan pengujian karakteristik aspal, aspal modifikasi ini memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi ditinjau dari hasil pengujian titik lembek dan titik leleh dengan kenaikan suhu titik lembek 1-2°C dan titik nyala sebesar 3-6°C. Namun memiliki nilai penetrasi yang rendah sehingga aspal ini akan getas apabila berada diwilayah dingin dengan hasil penurunan nilai penetrasi sebesar 14,4-50,9.
4. Berdasarkan pengujian Marshall untuk aspal modifikasi didapatkan hasil bahwa penambahan kadar aspal sebesar 10% memenuhi sebagian besar parameter spesifikasi HRS-WC berdasarkan Peraturan Umum Bina Marga 2018.

5. Dari hasil perhitungan perbandingan biaya benda uji aspal konvensional dengan aspal modifikasi dapat mengurangi biaya material sebesar 4,89%.

5.2 Saran

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

1. Melakukan penelitian lanjutan dengan meneliti zat pengikat yang dapat menjadikan bitumen dengan zat aditif menjadi lebih homogen. Sehingga dapat membuat nilai penetrasi dan VIM sesuai dengan parameter spesifikasi.
2. Penelitian lanjutan berupa pengujian karakteristik aspal dengan penambahan data terkait sifat fisis campuran dan sifat kimia campuran.
3. Penelitian lanjutan berupa penelitian terkait dampak lingkungan yang disebabkan oleh aspal plastik dan karet. Dan berupa penelitian riil lapangan guna mengetahui pengaruh beban langsung kendaraan dilapangan.

DAFTAR PUSTAKA

Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2002.
Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas

Departemen Pekerjaan Umum, 2005. T-04-2005-B

Darunifah, N. (2007). *Pengaruh bahan tambahan karet padat terhadap karakteristik campuran*. Retrieved from http://eprints.undip.ac.id/18493/1/Nurkhayati_Darunifah.pdf

Anonim. (2008). Kajian Karakteristik Campuran Hot Rolled Asphalt Akibat Penambahan Limbah Serbuk Ban Bekas. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, 8(2), 91–104.

Amal, A. S. (2012). Pemanfaatan Getah Karet Pada Aspal AC 60/70 Terhadap Stabilitas Marshall Pada Asphalt Treated Base (Atb). *Jurnal Media Teknik Sipil*, 9(1). <https://doi.org/10.22219/jmts.v9i1.1111>

Kinerja Campuran Beraspal. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 2(4), 366–381.

Amaral, G., Bushee, J., Cordani, U. G., KAWASHITA, K., Reynolds, J. H., ALMEIDA, F. F. M. D. E., ... Junho, M. do C. B. (2013). Title. In *Journal of Petrology* (Vol. 369). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Wantoro, W., Kusumaningrum, D., Setiadji, B. H., & Kushardjoko, W. (2013). Pengaruh Penambahan Plastik Bekas Tipe Low Density Polyethylen (LDPE) Terhadap

Fatih hattatoglu, 2015. Modeling of Marshall Quotient of Hot Mix Asphalts by Artificial Neural Networks

Wirasadewa, Yudo Chandrasa Taufikurohmah, T., Sugatri, R. I., & Muslih, E. Y. (2017). IDENTIFIKASI LIMBAH SERBUK INDUSTRI BAN 1.

Cahya, C. Y., M. Saleh, S., & Anggraini, R. (2018). Karakteristik Penggunaan Abu Serbuk Kayu Sebagai Subtitusi Filler Pada Campuran Laston Lapis Aus. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan*, 1(4), 61–68.
<https://doi.org/10.24815/jarsp.v1i4.12456>

Mu, A. (2019). *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Qasim, Z. I., Abed, A. H., & Almomem, K. A. (2019). Evaluation of Mixing and Compaction Temperatures (MCT) for modified asphalt binders using zero shear viscosity and Cross-Williamson model. *Case Studies in Construction Materials*, 11, e00302.
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00302>

Karet, P. P. (2018). *SIFAT FISIKA ASPAL MODIFIKASI KARET ALAM PADA BERBAGAI Physical Properties of Natural Rubber Modified Asphalt at Various Type*. 36(1), 65–76.

Saputro, E. D., Widodo, S., & Sulandari, E. (n.d.). *ESTIMASI KADAR ASPAL OPTIMUM PADA HRS BERDASARKAN DATA HISTORIS PENELITIAN*

Surat. 2019. Pengaruh peambahan plastik LDPE terhadap hasil Marshall untuk HRS-WC.

(<https://www.cnbcindonesia.com/lifestyle/20190721140139-33-86420/sebegini-parah-ternyata-masalah-sampah-plastik-di-indonesia>)

<http://gowest.id/limbah-ban-dan-abu-sekam-jadi-penguat-beton/>

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap moch. Dikrimasro ramadhan alwafi, dilahirkan pada tanggal 20 januari 1998 di kota surabaya. Penulis merupakan anak pertama di 3 keluarga. Perjalanan pendidikan penulis secara formal bermula di TK Aisyah Peneleh, SD muhammadiyah 2 Surabaya, SMP 43 Surabaya, dan SMA 8 Surabaya. Pada tahun 2016 penulis melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi dan terdaftar di departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Selama masa studi, penulis fokus dibidang bangunan transportasi dan struktur. Dan juga penulis aktif di kegiatan intra kampus, diantaranya menjadi koordinator dana dvillage 8th edition, kepala departemen PSDM ITS Billiard, Kepala Divisi Pengembangan Internasional BEM FV ITS. Selain itu, penulis juga mengikuti program magang di PT. Waskita Karya (Persero) Tbk, pada proyek pembangunan jalan tol cibitung-cilincing, kab. Bekasi, Jawa Barat. Penelitian ini disusun oleh penulis pada masa pandemi COVID-19. Dan apabila ada keperluan terkait dapat menghubungi penulis melalui email ramadhan.alwafi@gmail.com.

LAMPIRAN

	
Agregat 0-5mm	Agregat 5-10mm
	
Agregat 10-10mm	Saringan agregat
	
Oven	Berat lolos ayakan no.4

	
Uji berat agregat halus	Uji berat agregat halus
	
Uji berat agregat halus	Uji berat agregat halus
	
Uji berat aspal	Uji berat aspal

	
Uji berat aspal	Cawan, karet & LDPE
	
uji kehilangan berat	Uji titik nyala
	
Uji berat jenis agregat	Uji berat jenis agregat

	
Uji kehilangan berat	Uji kehilangan berat
	
Uji kehilangan berat	Pencampuran aspal mod
	
Pemanasan aspal	Pemanasan agregat

	
Pemadatan benda uji	Jacking benda uji
	
perendaman water bath	Uji marshall
	
Dial flow	Alat marshall

	
Benda uji	Poving ring
	
Berat benda uji	Uji marshall
	
Uji kehilangan berat aspal mod	Uji berat jenis aspal

	
Uji berat jenis aspal	Berat benda uji
	
Berat benda uji	Berat Benda uji
	
Pembuatan aspal mod	Pembuatan aspal mod

Log Book Kegiatan			
Bulan	Tanggal	Jadwal Kegiatan	Keterangan
Februari	16/02/2020	analisa saringan	Membersihkan agregat
	17/02/2020	analisa saringan	Membersihkan agregat
	18/02/2020	analisa saringan	Membersihkan agregat
	19/02/2020	analisa saringan	menggoreng agregat 10-10mm
	20/02/2020	analisa saringan	menggoreng agregat 5-10mm
	23/02/2020	analisa saringan	menguji saringan agregat ukuran 10-10mm
	24/02/2020	analisa saringan	menguji saringan agregat ukuran 5-10mm
	25/02/2020	analisa saringan	menggoreng agregat 0-5mm
	26/02/2020	analisa saringan	menguji saringan agregat ukuran 0-5mm
	27/02/2020	BJ dan Penyerapan	menguji berat agregat 10-10 dan 5-10mm
	28/02/2020	BJ dan Penyerapan	menguji berat agregat 0-5mm
	02/03/2020	Karakteristik aspal	menguji berat jenis aspal konvensional
Maret	03/03/2020	Karakteristik aspal	menguji kehilangan berat aspal konvensional
	04/03/2020	Karakteristik aspal	menguji penetrasi aspal konvensional
	05/03/2020	Karakteristik aspal	menyusun laporan
	06/03/2020	Karakteristik aspal	menyusun laporan
	09/03/2020	Karakteristik aspal	menyusun laporan
	10/03/2020	Karakteristik aspal	menguji daktilitas
	11/03/2020	Karakteristik aspal	menguji daktilitas
	12/03/2020	Karakteristik aspal	menguji titik lembek aspal

April	06/04/2020	JMF	membuat blending agregat
	07/04/2020	JMF	membuat Job mix design
	08/04/2020	JMF	membuat Job mix design
	09/04/2020	JMF	menyusun laporan
	10/04/2020	JMF	menyusun laporan
	13/04/2020	JMF	menyusun laporan
	14/04/2020	JMF	menyusun laporan
	15/04/2020	JMF	menyusun laporan
	16/04/2020	JMF	menyusun laporan
	17/04/2020	KAO	menimbang agregat
	20/04/2020	KAO	menimbang agregat
	21/04/2020	KAO	menimbang agregat
	22/04/2020	KAO	menimbang agregat
	23/04/2020	KAO	menimbang agregat
	24/04/2020	KAO	menimbang agregat
	27/04/2020	KAO	menimbang agregat
	28/04/2020	KAO	menimbang agregat
	29/04/2020	Asistensi	
	30/04/2020	KAO	menimbang agregat
Mei	01/05/2020	KAO	membuat benda uji
	04/05/2020	KAO	membuat benda uji
	05/05/2020	KAO	membuat benda uji
	06/05/2020	KAO	membuat benda uji
	07/05/2020	KAO	membuat benda uji
	08/05/2020	KAO	membuat benda uji
	11/05/2020	KAO	membuat benda uji
	12/05/2020	KAO	membuat benda uji
	13/05/2020	KAO	merendam benda uji
	14/05/2020	KAO	menguji marshall

	15/05/2020	KAO	menguji marshall
	16/05/2020	KAO	membuat benda uji
	17/05/2020	KAO	membuat benda uji
	18/05/2020	KAO	membuat benda uji
	19/05/2020	KAO	merendam benda uji
	20/05/2020	KAO	menguji marshall
	21/05/2020	KAO	menguji marshall
	22/05/2020	KAO	menyusun laporan
	25/05/2020	KAO	menimbang agregat
	26/05/2020	KAO	menimbang agregat
	27/05/2020	KAO	menimbang agregat
	28/05/2020	KAO	membuat benda uji
	29/05/2020	KAO	merendam benda uji
Juni	01/06/2020	KAO	menguji marshall
	02/06/2020	KAO	menyusun laporan
	03/06/2020	KAO	menyusun laporan
	04/06/2020	KAO	menyusun laporan
	05/06/2020	KAO	menyusun laporan
	08/06/2020	benda uji mod	menimbang agregat benda uji modifikasi
	09/06/2020	benda uji mod	menimbang agregat benda uji modifikasi
	10/06/2020	benda uji mod	menimbang agregat benda uji modifikasi
	11/06/2020	benda uji mod	menimbang agregat benda uji modifikasi
	12/06/2020	benda uji mod	menimbang agregat benda uji modifikasi
	13/06/2020	benda uji mod	menimbang agregat benda uji modifikasi
	14/06/2020	benda uji mod	menimbang agregat benda uji modifikasi
	15/06/2020	benda uji mod	menimbang agregat benda uji modifikasi

	18/06/2020	benda uji mod	menimbang agregat benda uji modifikasi
	19/06/2020	Asistensi	
	20/06/2020	benda uji mod	menimbang agregat benda uji modifikasi
	25/06/2020	benda uji mod	menimbang agregat benda uji modifikasi
	26/06/2020	benda uji mod	menimbang agregat benda uji modifikasi
	27/06/2020	benda uji mod	menimbang agregat benda uji modifikasi
	28/06/2020	benda uji mod	menimbang agregat benda uji modifikasi
Juli	01/07/2020	benda uji mod	menimbang agregat benda uji modifikasi
	02/07/2020	benda uji mod	menimbang agregat benda uji modifikasi
	03/07/2020	benda uji mod	menimbang agregat benda uji modifikasi
	04/07/2020	benda uji mod	menimbang agregat benda uji modifikasi
	07/07/2020	benda uji mod	menimbang agregat benda uji modifikasi
	08/07/2020	benda uji mod	menimbang agregat benda uji modifikasi
	09/07/2020	benda uji mod	menimbang agregat benda uji modifikasi
	10/07/2020	benda uji mod	membuat benda uji modifikasi
	11/07/2020	benda uji mod	membuat benda uji modifikasi
	12/07/2020	benda uji mod	membuat benda uji modifikasi
	13/07/2020	benda uji mod	merendam benda uji modifikasi
	14/07/2020	benda uji mod	menguji marshall benda uji modifikasi
	15/07/2020	benda uji mod	membuat benda uji modifikasi
	16/07/2020	benda uji mod	membuat benda uji modifikasi
	17/07/2020	benda uji mod	membuat benda uji modifikasi

	18/07/2020	benda uji mod	merendam benda uji modifikasi
	19/07/2020	Asistensi	menguji marshall benda uji modifikasi
	20/07/2020	Karakteristik aspal	menguji berat jenis aspal modifikasi
	21/07/2020	Karakteristik aspal	menguji kehilangan berat aspal modifikasi
	22/07/2020	Karakteristik aspal	menguji penetrasi aspal meodifikasi
	23/07/2020	Karakteristik aspal	menguji daktilitas aspal modifikasi
	24/07/2020	Karakteristik aspal	menguji titik lembek aspal modifikasi
	25/07/2020	Karakteristik aspal	menguji titik nyala aspal modifikasi