



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - VC 191845

PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BAN KARET KENDARAAN BERMOTOR UNTUK CAMPURAN LASTON LAPIS ANTARA (AC-BC) TERHADAP KARAKTERISTIK HASIL UJI MARSHALL

HENY HANIFAH PERMATASARI
NRP.10111610013084

Dosen Pembimbing
Ir. Rachmad Basuki, MS.
NIP. 19641114.198903.1.001

PROGRAM SARJANA TERAPAN
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



FINAL PROJECT - VC 191845

THE EFFECT OF ADDITON MOTOR VEHICLE RUBBER TIRE WASTE FOR MIXTURE OF LASTON ASPHALT CONCRETE BINDER COURSE ON CHARACTERISTICS OF MARSHALL TEST RESULTS

HENY HANIFAH PERMATASARI
NRP.10111610013084

Supervisor
Ir. Rachmad Basuki, MS.
NIP. 19641114.198903.1.001

APPLICATION UNDERGRADUATE PROGRAM
Civil Infrastructure Engineering Department
Vocational Faculty
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

LEMBAR PENGESAHAN

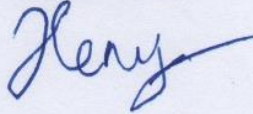
PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BAN KARET KENDARAAN BERMOTOR UNTUK CAMPURAN LASTON LAPIS ANTARA (AC-BC) TERHADAP KARAKTERISTIK HASIL UJI MARSHALL

TUGAS AKHIR

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

Surabaya, 19 Agustus 2020
Disusun Oleh:



HENY HANIFAH PERMATASARI
NRP. 10111610013084

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir Terapan:





Berita Acara Sidang Proyek Akhir

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi ITS

Semester Genap 2019-2020

Nomor BA :

Nomor Jadwal : **29**

Program Studi : D4 Teknik Sipil (TRPPBS)
Diinout oleh : Amalia Firdaus M., ST., MT.
Bahwa pada hari ini : Rabu, 05-Agt-2020 Pukul : 10:00 s/d 12:00
Di tempat : Online Meeting

Telah dilaksanakan sidang Proposal Tugas Akhir dengan judul:

PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BAN KARET KENDARAAN BERMOTOR UNTUK CAMPURAN LASTON LAPIS ANTARA (AC-BC) TERHADAP KARAKTERISTIK HASIL UJI MARSHALL

Yang dihadiri dan diresentasikan oleh mahasiswa : (Hadir / Tidak Hadir)
10111610013084 HENY HANIFAH PERMATASARI Hadir

Yang dihadiri oleh dosen Pembimbing: (Hadir / Tidak Hadir)
1 Ir. Rachmad Basuki, MS. Hadir
2 Hadir

Yang dihadiri oleh dosen Penzui: (Hadir / Tidak Hadir)
1 Dr. Macheus, ST., MT. Hadir
2 Amalia Firdaus M., ST., MT. Hadir
3

Bahwasanya, musyawarah pembimbing dan penzui pada sidang provek akhir ini memutuskan:
10111610013084 HENY HANIFAH PERMATASARI
LULUS, DENGAN REVISI MINOR

Catatan / revisi / masukan :

Dr. Macheus, ST., MT.

- Kesimpulan, agar lebih inovatif, ditampilkan 2 hal, antara yang sesuai spesifikasi dan tidak tetapi di rekomendasi untuk aspek pertimbangan yang lain.
- Grafik penambahan karct, dimulai dari 0% (tanga karct), agar informasinya komprchensif
-
-
-
-

Amalia Firdaus M, ST., MT.

- a Penyediaan bahan karet agar di detailkan, dimensinya
- b Perlu penjelasan perbedaan/gap dengan penelitian terdahulu

c
d
e
f

a
b
c
d
e
f

Tindak lanjut :

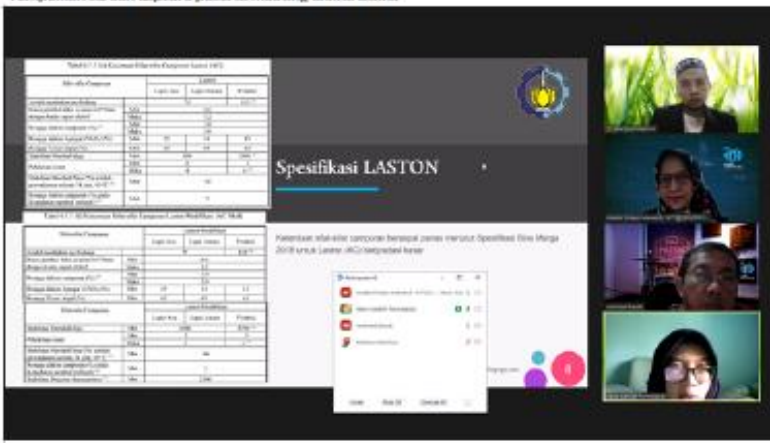
Mahasiswa memperbaiki/morevisi Proyeck Akhir sesuai dengan masukan di atas.

Penutup :

Demikian Berita Acara Sidang Proyeck Akhir ini dibuat sebagai panduan revisi oleh Mahasiswa.

Lampiran :

Tempelkan scren capture peserta meeting online disini.





KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-8947837 Fax. 031-8938025

<http://www.e-sipilitsa.its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1. Heny Hanifah . P. 2
 NRP : 1. 10111610013084 2
 Judul Tugas Akhir : Pengaruh Penambahan Limbah Ban Karet Kendaran Bermotor untuk campuran laston lapis Antara (AC-8c) Terhadap Karakteristik Hasil Uji Marshall
 Dosen Pembimbing : Ir. Rachmad Basuki, MS.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1.	05/03 2020	- warna BB & BA pada grafik serta data legend - Faktor sampling, Pengaruh ke blending agregat		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	12/03 2020	- JMF AC 6 → sudah oke - Tidak boleh melebihi 7		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.	12/05 2020	- Hasil KAO untuk stabilitas, flow → ok		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.	19/06 2020	- Hasil flow dikoreksi dengan SF Marshall manual		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.	15/07 2020	- metode kering karet tidak campur - VIM jadi besar - Hasil yang telat masuk → suam		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.	17/07 2020	- Diberi abris tiap hasil grafik agar koreksi		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket.
 B = Lebih cepat dan jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dan jadwal

**PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BAN KARET
KENDARAAN BERMOTOR UNTUK CAMPURAN
LASTON LAPIS ANTARA (AC-BC) TERHADAP
KARAKTERISTIK HASIL UJI MARSHALL**

Nama Mahasiswa : **Heny Hanifah Permatasari**
NRP : **10111610013084**
Jurusan : **Diploma IV Departemen Teknik
Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi –
ITS**
Dosen Pembimbing : **Ir. Rachmad Basuki, MS.**
NIP : **19641114 198903 1 001**

ABSTRAK

Ban bekas kendaraan bermotor yang tidak terpakai di lingkungan semakin meningkat. Masalah ini semakin besar dikarenakan ban bekas tidak dapat terurai dengan mudah apabila hanya dibiarkan. Oleh karena itu, diperlukan usaha untuk mengubah limbah ban bekas menjadi sesuatu yang lebih berguna, salah satu inovasi yang dapat dilakukan untuk menangani permasalahan tersebut adalah dengan memanfaatkan limbah ban karet kendaraan bermotor dalam campuran aspal. Pada penelitian ini lapisan aspal yang digunakan merupakan laston lapis antara (AC-BC). Adapun material yang digunakan pada penelitian ini ialah: agregat kasar, agregat halus, aspal pen. 60/70 dan Kadar limbah ban karet yang digunakan adalah 0%; 2%; 4% 6%, 8%, dan 10% dari total berat aspal.

Tahapan dalam penelitian ini yaitu: cek spesifikasi material, menghitung kadar aspal optimum, pengujian penambahan limbah ban karet dan analisis hasil pengujian marshall. Proses pencampuran limbah ban karet ini menggunakan metode kering dengan menambahkan limbah ban karet sewaktu pemanasan agregat serta pastikan agregat dan aspal telah menyatu

dengan limbah ban karet. Pembuatan dan pengujian benda uji dilakukan dalam 2 tahap, yakni pembuatan benda uji tanpa tambahan limbah karet ban untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) yang selanjutnya digunakan dalam campuran pembuatan benda uji dengan penambahan limbah karet ban.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai Kadar Aspal Optimum sebesar 6,00%. Dari pengujian Marshall yang telah dilakukan, didapatkan nilai stabilitas campuran aspal modifikasi mengalami peningkatan yang signifikan dibandingkan campuran aspal normal. Nilai stabilitas meningkat hingga 54% yakni sebesar 2592,45 kg pada kadar karet 10%, sedangkan nilai stabilitas campuran aspal konvensional sebesar 1679,41 kg. Dari pengujian Marshall campuran aspal yang ditambahkan limbah ban karet yang telah dilakukan, didapatkan nilai stabilitas, *flow*, VIM, VMA dan *Marshall Quotient* mengalami peningkatan yang signifikan dibandingkan campuran aspal konvensional. Namun untuk nilai VFA mengalami penurunan. Penggunaan kadar karet yang semakin tinggi dengan nilai stabilitas yang meningkat, dapat mengurangi penggunaan kadar aspal sehingga campuran modifikasi menjadi lebih ekonomis.

Kata kunci : aspal, limbah, ban karet, penelitian, AC-BC, karakteristik marshall

**THE EFFECT OF ADDITON MOTOR VEHICLE RUBBER
TIRE WASTE FOR MIXTURE OF LASTON ASPHALT
CONCRETE BINDER COURSE ON CHARACTERISTICS OF
MARSHALL TEST RESULTS**

Name : Heny Hanifah Permatasari
NRP : 10111610013084
Department : Civil Infrastructure Engineering
Supervisor : Ir. Rachmad Basuki, MS.
NIP : 19641114 198903 1 001

ABSTRACT

Wasted motor vehicle tires that are not used in the environment are increasing. This problem is even greater because used tires cannot be broken down easily if only left. Therefore, efforts are needed to convert used tire waste into something more useful, one of the innovations that can be done to deal with these problems is to utilize motorized rubber waste tires in asphalt mixture. In this study the asphalt layer used is the last-layer intermediate layer (AC-BC). The material used in this study are: coarse aggregate, fine aggregate, asphalt pen. 60/70 and the rubber tire waste content used is 0%; 2%; 4% 6%, 8%, and 10% of the total weight of asphalt

The stages in this research are: check the material specifications, calculate the optimum asphalt content, test the addition of rubber tire waste and analyze the results of the Marshall test. The process of mixing rubber tire waste uses the dry method by adding rubber tire waste while heating the aggregate and making sure that the aggregate and asphalt are integrated with the waste tire rubber. The making and testing of specimens are carried out in 2 stages, namely the making of specimens without the addition of tire rubber waste to obtain the Optimum Asphalt Level (KAO) which is then used in a mixture of specimens making with the addition of tire rubber waste.

The results of this study indicate that the Optimum Asphalt Content is 6.00%. From the Marshall test that has been done, the stability value of the modified asphalt mixture has increased significantly compared to the normal asphalt mixture. The stability value increased up to 54%, that is 2592.45 kg at 10% rubber content, while the stability value of conventional asphalt mixture was 1679.41 kg. From the Marshall test the asphalt mixture added with rubber tire waste that has been done, obtained the value of stability, flow, VIM, VMA and Marshall Quotient experienced a significant increase compared to conventional asphalt mixture. But for the VFA value has decreased. The use of higher rubber content with an increased stability value can reduce the use of asphalt content so that the modified mixture becomes more economical.

Keywords: asphalt, waste, rubber tires, research, AC-BC, marshall characteristics

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kami panjatkan kepada Allah SWT atas berkah dan rahmatnya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Penambahan Limbah Ban Karet Kendaraan Bermotor untuk Campuran Laston Lapis Antara (AC-BC) Terhadap Karakteristik Hasil Uji Marshall”.

Tersusunnya Tugas Akhir ini tidak lepas dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Terima kasih kepada pihak – pihak yang telah membantu terselesaikannya Tugas Akhir ini :

1. Kedua orang tua saya, sebagai penyemangat terbesar bagi kami, yang telah memberikan dukungan moril maupun materiil, serta do'anya.
2. Bapak Ir. Rachmad Basuki, MS., selaku dosen pembimbing yang telah memberi arahan, bimbingan serta masukan kepada penulis.
3. Bapak Ibu dosen serta Staff Laboratorium Transportasi yang telah memberikan ilmu, bimbingan, serta arahan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Teman – teman DS 37, selaku pemberi semangat dan informasi yang sangat membantu demi kelancaran proses penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhir kata, semoga yang penulis sajikan dalam laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, penulis, dan semua pihak.

Surabaya, Juli 2020
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR GRAFIK.....	xvi
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 LASTON.....	5
2.1.1 Pengertian LASTON.....	5
2.1.2 Spesifikasi LASTON.....	6
2.2 Material Penyusun Campuran LASTON.....	7
2.2.1 Agregat kasar.....	7
2.2.2 Agregat halus.....	7
2.2.3 Spesifikasi agregat gabungan.....	8
2.2.4 Bahan aspal untuk campuran beraspal.....	8
2.2.5 Karakteristik campuran karet terhadap aspal.....	9
2.3 Limbah Ban Karet Kendaraan Bermotor.....	9
2.4 Penelitian Terdahulu.....	10
2.4.1 Pengaruh penambahan bahan karet pada LASTON.....	10
2.5 Perencanaan Kadar Aspal.....	22
2.6 Pengujian Marshall.....	23
2.7 Parameter Pengujian Marshall.....	23
2.7.1 <i>Density</i>	23

2.7.2	Rongga dalam campuran/ <i>Void in Mix (VIM)</i> ..	24
2.7.3	Rongga dalam <i>agregat/ Void in Mineral Aggregate (VMA)</i>	25
2.7.4	Rongga terisi campuran beraspal/ <i>Void in Filled with Asphalt (VFA)</i>	26
2.7.5	Stabilitas marshall	27
2.7.6	Kelelahan (<i>flow</i>)	28
2.7.7	Marshall quotient (MQ).....	28
BAB III	METODOLOGI	29
3.1	Diagram Alir Penelitian	29
3.2	Tempat Penelitian	30
3.3	Persiapan Alat dan Bahan	31
3.4	Pembuatan Benda Uji AC-BC Konvensional.....	35
3.5	Pembuatan Benda Uji AC-BC Modifikasi dengan Penambahan Limbah Ban Karet	36
3.6	Variasi Benda Uji.....	38
3.7	Pengujian dengan Tes Marshall	39
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1	Hasil Pengujian Material.....	42
4.1.1	Analisa Saringan Agregat	42
4.1.2	Berat jenis dan penyerapan air agregat	48
4.1.3	Hasil pengujian aspal.....	56
4.2	Perencanaan Proporsi Agregat Gabungan	56
4.3	Perencanaan Pembuatan Benda Uji	58
4.3.1	Penentuan kadar aspal rencana	59
4.3.2	Variasi nilai kadar aspal rencana	62
4.4	Pengujian <i>Marshall</i>	64
4.4.1	<i>Density</i>	66
4.4.2	<i>Void in Mix (VIM)</i>	68
4.4.3	<i>Void Filled Asphalt (VFA)</i>	69
4.4.4	<i>Void in Mineral Aggregate (VMA)</i>	70
4.4.5	<i>Flow</i>	72
4.4.6	Stabilitas.....	73
4.4.7	<i>Marshall Quotient (MQ)</i>	74

4.5 Hasil Analisa Optimalisasi Kadar Aspal Konvensional.....	76
4.6 Pengujian <i>Marshall</i> Aspal Modifikasi.....	79
4.6.1 <i>Density</i>	79
4.6.2 <i>Stabilitas</i>	82
4.6.3 <i>Flow</i>	84
4.6.4 <i>Void in Mix (VIM)</i>	85
4.6.5 <i>Void in Mineral Agregate (VMA)</i>	88
4.6.6 <i>Void Filled Asphalt (VFA)</i>	90
4.6.7 <i>Marshall Quotient (MQ)</i>	92
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	95
5.1 Kesimpulan	95
5.2 Saran	97
DAFTAR PUSTAKA	98
BIODATA PENULIS	100
Ucapan Terima Kasih Penulis	101
LAMPIRAN.....	102

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Lapisan Perkerasan Asphalt Concrete.....	5
Gambar 2.2 Hubungan Stabilitas dengan Penambahan Kadar Karet	11
Gambar 2.3 Hubungan Flow dengan Penambahan Kadar Karet ..	11
Gambar 2.4 Hubungan Void Filled dengan Penambahan Kadar Karet	12
Gambar 2.5 Hubungan VIM dengan Penambahan Kadar Karet .	13
Gambar 2.6 Hubungan MQ dengan Penambahan Kadar Karet ..	14
Gambar 2.7 Hubungan VMA dengan Penambahan Kadar Karet	15
Gambar 2.8 Hubungan Stabilitas dan Kadar Serbuk Ban Bekas	17
Gambar 2.9 Hubungan <i>flow</i> dan Kadar Serbuk Ban Bekas	18
Gambar 2.10 Hubungan VIM dan Kadar Serbuk Ban Bekas	18
Gambar 2.11 Hubungan VMA dan Kadar Serbuk Ban Bekas	19
Gambar 2.12 Hubungan VFA dan Kadar Serbuk Ban Bekas	20
Gambar 2.13 Hubungan MQ dan Kadar Serbuk Ban Bekas	20
Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian.....	30
Gambar 3.2 Aspal Pen 60/70.....	33
Gambar 3.3 Agregat Kasar	33
Gambar 3.4 Agregat Halus	34
Gambar 3.5 Serbuk Limbah Ban Karet	34
Gambar 3.6 Solar	35

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Gabungan 4 Fraksi	58
Grafik 4.2 Density vs Kadar Aspal	67
Grafik 4.3 VIM.....	69
Grafik 4.4 VFA	70
Grafik 4.5 VMA	71
Grafik 4.6 <i>Flow</i> vs Kadar Aspal.....	72
Grafik 4.7 Stabilitas vs Kadar Aspal	73
Grafik 4.8 MQ vs Kadar Aspal	75
Grafik 4.9 Density vs Kadar Aspal	81
Grafik 4.10 Stabilitas vs Kadar Karet	82
Grafik 4.11 Flow vs Kadar Karet	84
Grafik 4.12 VIM.....	87
Grafik 4.13 VMA vs Kadar Karet.....	89
Grafik 4.14 VFA vs Kadar Karet	91
Grafik 4.15 MQ vs Kadar Aspal	93

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Lapis Aspal Beton (LASTON)	6
Tabel 2.2 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston yang Dimodifikasi (AC Mod).....	6
Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Kasar	7
Tabel 2.4 Ketentuan Agregat Halus	7
Tabel 2.5 Ketentuan Agregat Gabungan untuk Campuran Beraspal	8
Tabel 2.6 Ketentuan untuk Aspal Modifikasi	8
Tabel 2.7 Kandungan Ban	10
Tabel 3.1 Benda Uji Aspal Konvensional Tanpa Penambahan Limbah Ban Karet	38
Tabel 3.2 Benda Uji Aspal Modifikasi Dengan Penambahan Limbah Ban Karet	38
Tabel 4.1 Agregat Kasar (CA) 10-20 mm	43
Tabel 4.2 Agregat Sedang (MA) 10-10 mm	44
Tabel 4.3 Agregat Sedang (MA) 5-10 mm.....	45
Tabel 4.4 Agregat Halus (FA) 0-5 mm	47
Tabel 4.5 Agregat Kasar (CA) 10-20 mm.....	48
Tabel 4.6 Agregat Medium (MA) 10-10 mm.....	50
Tabel 4.7 Agregat Medium (MA) 5-10 mm.....	51
Tabel 4.8 Agregat Halus (FA) 0-5 mm	52
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Fisik Agregat	54
Tabel 4.10 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat.....	55
Tabel 4.11 Hasil Uji Karakteristik Aspal	56
Tabel 4.12 Prosentase Penggabungan Agregat	57
Tabel 4.13 Proporsi Campuran Agregat.....	58

Tabel 4.14 Perkiraan Nilai Kadar Aspal	61
Tabel 4.15 Variasi 1 Nilai Kadar Aspal Rencana	62
Tabel 4.16 Variasi 2 Nilai Kadar Aspal Rencana	63
Tabel 4.17 Variasi 3 Nilai Kadar Aspal Rencana	63
Tabel 4.18 Variasi 4 Nilai Kadar Aspal Rencana	63
Tabel 4.19 Perhitungan Berat Jenis Teori Maksimum	65
Tabel 4.20 Nilai Density	66
Tabel 4.21 Hasil Analisa VIM	68
Tabel 4.22 Hasil Analisa VFA	70
Tabel 4.23 Hasil Analisa VMA.....	71
Tabel 4.24 Hasil Analisa Flow	72
Tabel 4.25 Hasil Analisa Stabilitas	73
Tabel 4.26 Hasil Analisa MQ.....	75
Tabel 4.27 Hasil Rekapitulasi Analisa Parameter Marshall	76
Tabel 4.28 Kontrol Hasil Rekapitulasi Analisa Parameter Marshall	77
Tabel 4.29 Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	78
Tabel 4.30 Nilai Density	79
Tabel 4.31 Stabilitas.....	82
Tabel 4.32 Hasil analisis flow	84
Tabel 4.33 Hasil Analisa VIM	86
Tabel 4.34 Hasil Analisis Void in Mineral Agregate	88
Tabel 4.35 Hasil Analisa Void Filled Asphalt	90
Tabel 4.36 hasil perhitungan nilai Marshall Quotient.....	93

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara berkembang dengan tingkat penduduk yang cukup tinggi. Dari jumlah penduduk yang cukup tinggi tersebut, banyak orang yang menggunakan transportasi dalam kehidupan sehari-hari. Transportasi adalah salah satu sarana sebagai alat untuk mobilisasi. Penyediaan sarana dan prasarana transportasi di darat, laut ataupun udara harus dikelola dengan baik. Dalam hal ini, prasarana untuk transportasi darat adalah jalan. Jalan adalah salah satu prasarana transportasi yang berperan dalam kehidupan bangsa Indonesia dan memajukan kesejahteraan umum. Penggunaan sumber daya alam tidak terbarukan dapat menjadi masalah bagi generasi mendatang. [1] Namun, dalam kenyataannya di sekitar kita masih ditemui jalan yang belum memenuhi syarat, sehingga berdampak pada penurunan kualitas jalan. Jalan dengan kualitas rendah akan mudah rusak karena kurang mampu menahan beban kendaraan dan cuaca. [2]

Untuk meningkatkan kualitas jalan saat ini dapat dilakukan usaha berikut adalah salah satu nya meningkatkan kualitas aspal dengan memodifikasi campuran aspal dengan bahan tambah yang bervariasi untuk menghasilkan aspal dengan kualitas yang lebih baik. Salah satu nya adalah menggunakan limbah dalam campuran aspal agar dapat menekan biaya produksi serta meningkatkan kualitas aspal itu sendiri. Penelitian yang dilakukan oleh *US Department of Transportation Federal Highway Administration di Amerika* sejak 1986 menggunakan ban bekas sebagai bahan tambahan campuran aspal. Ban bekas sebagai tambahan campuran aspal mampu mereduksi kerusakan pada perkerasan lentur

yang diakibatkan oleh faktor cuaca dan lalu lintas. [3] Seiring dengan meningkatnya jumlah kendaraan, limbah ban bekas juga mengalami peningkatan. Oleh karena itu, perlu dilakukan usaha untuk menangani dan mengolah limbah ban bekas yang dapat mencemari lingkungan.

Jenis limbah yang seringkali menimbulkan polusi lingkungan dapat digunakan salah satunya adalah ban bekas kendaraan bermotor, saat ini produksi karet alam di Indonesia melebihi 3 juta ton per tahun, dan akan terus ditingkatkan lagi mengingat potensi lahan yang ada mencapai 3,5 juta hektar. Dengan jumlah konsumsi yang cukup besar juga akan menimbulkan masalah limbah ban karet yang cukup banyak. [4]

Banyak penelitian yang dilakukan untuk menambah daya lekat dan kekentalan aspal diantaranya penggunaan bahan lateks, penggunaan ban dalam bekas kendaraan. Penggunaan bahan tambahan tersebut dapat memberikan kekuatan lebih bagi suatu lapisan permukaan jalan [5]

Limbah ban dalam bekas kendaraan adalah karet alam yang telah melewati proses pabrikasi dan sudah melewati penambahan campuran-campuran tertentu kemudian dicetak dalam bentuk ban dalam untuk kendaraan bermotor. Ban dalam bekas kendaraan bermotor berasal dari berbagai bahan seperti karet alam, karet sintetik, bahan kimia, karbon hitam dan minyak tertentu. Sifat-sifat karet adalah sendiri adalah kuat, dan lentur atau elastis. Sisa-sisa ban dalam bekas kendaraan ini bisa digunakan sebagai bahan tambahan untuk campuran laston, diharapkan dengan menambahkan campuran limbah karet ban dalam untuk konstruksi perkerasan jalan pada campuran aspal dapat memberikan banyak keuntungan, diantaranya meningkatkan daya cengkram akibat pengereman serta mengurangi kebisingan akibat gesekan ban roda dengan permukaan perkerasan.

permukaan perkerasan menjadi lebih tahan lama, tahan terhadap retakan akibat lendutan yang berlebihan serta retakan akibat kelelahan bahan, meningkatkan daya cengkram akibat pengereman serta mengurangi kebisingan akibat gesekan ban roda dengan permukaan perkerasan [6]

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan di atas, maka dapat dijabarkan beberapa rumusan masalah seperti berikut:

1. Bagaimana rancangan proporsi campuran AC-BC dengan tambahan limbah serbuk ban karet?
2. Bagaimana proporsi Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran AC-BC ?
3. Bagaimana pengaruh dari prosentase bahan aditif serbuk limbah ban karet 2%, 4%, 6%, 8%, 10% pada campuran AC-BC terhadap karakteristik marshall?
4. Bagaimana kelebihan dan kekurangan campuran laston AC-BC dengan tambahan limbah karet?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan di atas, maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah seperti berikut:

1. Mengetahui proporsi optimum campuran AC-BC dengan penambahan limbah serbuk ban karet dalam
2. Mengetahui proporsi penentuan KAO yang akan dijadikan sebagai acuan campuran aspal
3. Mengetahui pengaruh tiap-tiap prosentase bahan aditif pada campuran AC-BC terhadap karakteristik marshall
4. Mengetahui berbagai kelebihan dan kekurangan campuran laston AC-BC dengan limbah karet

1.4 Batasan Masalah

1. Jenis perkerasan berupa lapisan aspal beton (LASTON) Lapis Antara (AC-BC)
2. Jenis limbah karet yang digunakan berupa limbah ban dalam kendaraan bermotor
3. Jenis aspal dengan penetrasi 60/70
4. Kadar penambahan limbah karet dengan variasi 2%, 4%, 6%, 8%, 10% dari kadar berat aspal
5. Metode pencampuran menggunakan metode kering
6. Tidak membahas kandungan unsur kimia yang terkandung dalam bahan-bahan penelitian dan reaksi kimia yang terjadi pada campuran penggunaan limbah karet dalam aspal

1.5 Manfaat

1. Membantu mengurangi jumlah limbah ban karet di Indonesia
2. Membantu pemerintah dalam memberi solusi permasalahan pencemaran lingkungan akibat limbah ban karet
3. Memberikan inovasi peningkatan kualitas perkerasan jalan menggunakan bahan alternatif limbah karet sebagai campuran Laston Lapis Antara (AC-BC)

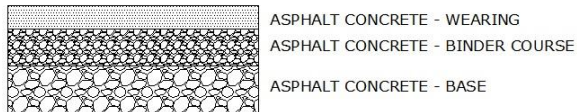
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 LASTON

2.1.1 Pengertian LASTON

Lapisan aspal beton adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat, dicampur dan dihampar dalam keadaan panas serta dipadatkan pada suhu tertentu [7]. Ciri lainnya adalah memiliki sedikit rongga dalam struktur agregatnya, saling mengunci satu dengan yang lainnya, oleh karena itu aspal beton memiliki sifat stabilitas tinggi dan relatif kaku. [8] Sesuai fungsinya Laston (AC) mempunyai 3 macam campuran yaitu:

1. Laston sebagai lapisan aus, dikenal dengan nama AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*), dengan tebal nominal minimum adalah 4 cm.
2. Laston sebagai lapisan antara, dikenal dengan nama AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*), dengan tebal nominal minimum adalah 6 cm.
3. Laston sebagai lapisan pondasi, dikenal dengan nama AC-Base (*Asphalt Concrete-Base*), dengan tebal nominal minimum adalah 7,5 cm.



Gambar2.1 Lapisan Perkerasan Asphalt Concrete

Sumber: www.google.com

2.1.2 Spesifikasi LASTON

Sebagai lapis permukaan perkerasan jalan, Laston (AC) mempunyai nilai struktur, kedap air, dan mempunyai stabilitas tinggi. Ketentuan sifat-sifat campuran beraspal panas menurut Spesifikasi Bina Marga 2010 untuk Laston (AC) bergradasi kasar, tertera pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Lapis Aspal Beton (LASTON)

Sifat-sifat Campuran		Laston					
		Lapis Atas		Lapis Antara		Pondasi	
		Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Kadar aspal efektif (%)		5.1	4.3	4.3	4.0	4.0	3.5
Penyerapan aspal (%)	Maks.			1.2			
Jumlah tumbukan per bidang		75			112 ⁽¹⁾		
Rongga dalam campuran (%) ⁽²⁾	Min.			3.5			
	Maks.			5.0			
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15		14		13	
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65		63		60	
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800				1800 ⁽¹⁾	
	Maks.						
Pelelehan (mm)	Min.	3				4.5 ⁽¹⁾	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	250				300	
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C ⁽³⁾	Min.			90			
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal) ⁽⁴⁾	Min.			2.5			

Sumber: Bina Marga, 2018

Tabel 2.2 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston yang Dimodifikasi (AC Mod)

Sifat-sifat Campuran		Laston ²		
		Lapis Atas	Lapis Antara	Pondasi ⁽⁶⁾
		Kadar Aspal Efektif (%)	4.5	4.2
Penyerapan aspal (%)	Maks.	1.2		
Jumlah tumbukan per bidang		75		112 ⁽¹⁾
Rongga dalam campuran (%) ⁽²⁾	Min.			3.0
	Maks.			5.5
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65	63	60
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	1000		2250 ⁽¹⁾
	Maks.			-
Pelelehan (mm)	Min.	3		4.5 ⁽¹⁾
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	300		350
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C ⁽³⁾	Min.			90
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal) ⁽⁴⁾	Min.			2.5
Stabilitas Dinamis, luntasan/mm ⁽⁵⁾	Min.			2500

Sumber: Bina Marga, 2018

2.2 Material Penyusun Campuran LASTON

2.2.1 Agregat kasar

Agregat Kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm sampai 40 mm [9]

Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian			Metoda Pengujian	Nilai
Kekakuan bentuk agregat terhadap larutan		natrium sulfat magnesium sulfat	SNI 3407:2008	Maks.12 % Maks.18 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles ¹⁾	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 6%
		500 putaran		Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran		Maks. 8%
		500 putaran		Maks. 40%
Kecepatan agregat terhadap aspal		SMA	SNI 2439:2011	Min. 95 %
Butir Pecah pada Agregat Kasar ²⁾		Lainnya	SNI 7619:2012	100/90 ¹⁾ 95/90 ²⁾
		SMA		ASTM D4791-10 Perbandingan 1 : 5
Partikel Pipih dan Lonjong		Lainnya	SNI ASTM C117: 2012	
Material Lolos Ayakan No.200				

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018

2.2.2 Agregat halus

Berdasarkan Bina Marga 2018 Agregat halus adalah agregat besar butir maksimum 4,76 mm yang berasal dari alam atau hasil alam, sedangkan agregat halus olahan adalah agregat halus yang dihasilkan dari pecahan dan pemisahan butiran dengan cara penyaringan atau cara lainnya dari batuan atau terkat tanur tinggi.

Tabel 2.4 Ketentuan Agregat Halus

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

Sumber: Speksifikasi Umum Bina Marga, 2018

2.2.3 Spesifikasi agregat gabungan

Berdasarkan PU Bina Marga, Spesifikasi umum 2018, pasal 6.3.2 ayat 3, Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi, harus memenuhi batas-batas. Rancangan dan perbandingan campuran untuk gradasi agregat gabungan harus mempunyai jarak terhadap batas-batas yang diberikan.

Tabel 2.5 Ketentuan Agregat Gabungan untuk Campuran Beraspal

Ukuran Ayakan	% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat								
	Stone Matrix Asphalt (SMA)			Laston (HRS)		Laston (AC)			
	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base	
1½"	37,5								100
1"	25		100						100
¾"	19		100	90 - 100	100	100			100
½"	12,5	100	90 - 100	50 - 88	90 - 100	90 - 100	90 - 100	75 - 90	60 - 78
¾"	9,5	70 - 95	50 - 80	25 - 60	75 - 85	65 - 90	77 - 90	66 - 82	52 - 71
No.4	4,75	30 - 50	20 - 35	20 - 28			53 - 69	40 - 64	35 - 54
No.8	2,36	20 - 30	16 - 24	16 - 24	50 - 72	35 - 55	33 - 53	30 - 49	23 - 41
No.16	1,18	14 - 21					21 - 40	18 - 38	13 - 30
No.30	0,600	12 - 18			35 - 60	15 - 35	14 - 30	12 - 28	10 - 22
No.50	0,300	10 - 15					9 - 22	7 - 20	6 - 15
No.100	0,150						6 - 15	5 - 13	4 - 10
No.200	0,075	8 - 12	8 - 11	8 - 11	6 - 10	2 - 9	4 - 9	4 - 8	3 - 7

Sumber: Speksifikasi Umum Bina Marga, 2018

2.2.4 Bahan aspal untuk campuran beraspal

Berdasarkan PU Bina Marga, Spesifikasi umum 2018, pasal 6.3.2 ayat 6, spesifikasi bahan aspal yang dapat digunakan sebagai berikut:

Tabel 2.6 Ketentuan untuk Aspal Modifikasi

No.	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal yang Dimodifikasi		
				A	B	C
1.	Penetrasi pada 25°C (dmm)	SNI 06-2456-1991	60-70	40-55	50-70	Min.40
2.	Viskositas 135°C (cSt)	SNI 06-6441-2000	385	385 - 2000	≤ 2000 ⁽¹⁾	≤ 3000 ⁽²⁾
3.	Titik Lembek (°C)	SNI 06-2434-1991	≥48	-	-	≥54
4.	Indeks Penetrasi ⁽³⁾	-	≥ -1,0	≥ -0,5	≥ 0,0	≥ 0,4
5.	Duktilitas pada 25°C. (cm)	SNI 06-2432-1991	≥100	≥100	≥100	≥100
6.	Titik Nyala (°C)	SNI 06-2433-1991	≥232	≥232	≥232	≥232
7.	Keluturan dim Toluene (%)	ASTM D5546	≥99	≥90 ⁽¹⁾	≥99	≥99
8.	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	≥1,0	≥1,0	≥1,0	≥1,0
9.	Stabilitas Penyimpangan (°C)	ASTM D 5976 part 6.1	-	≥2,2	≥2,2	≥2,2

Sumber: Speksifikasi Umum Bina Marga, 2018

2.2.5 Karakteristik campuran karet terhadap aspal

Karet memiliki kelebihan yaitu memiliki viskositas yang lebih tinggi pada suhu 60°C, lebih tahan lama dan mempunyai permukaan yang lebih elastis dibandingkan aspal konvensional. [10] Adapun tujuan dari bahan tambah adalah untuk dapat mengurangi *reflective cracking* pada *overlay*, mengurangi biaya pemeliharaan, meningkatkan ketahanan terhadap *cracking* dan *rutting* pada perkerasan baru, meningkatkan *skid resistance* dan umur perkerasan, serta mengurangi tingkat kebisingan. Berdasarkan hasil penelitian, penggantian agregat dengan serbuk ban bekas mampu menambah ketahanan campuran aspal terhadap air, sehingga dapat mengurangi kerusakan jalan. [11]

Stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban. Penambahan aspal diatas batas maksimum justru akan menurunkan stabilitas campuran itu sendiri sehingga lapis perkerasan menjadi kaku dan bersifat getas. Sedangkan pada Laston dengan penambahan bahan karet membuktikan bahwa semakin banyak penambahan ban bekas cenderung menurunkan nilai stabilitas. [12]

2.3 Limbah Ban Karet Kendaraan Bermotor

Ban adalah material komposit, biasanya dari karet alam / karet isoprena yang digunakan untuk ban truk dan ban mobil penumpang. Ban bekas adalah suatu produk ikatan silang dari karet alam dan karet sintetis diperkuat dengan carbon black yang menyerap minyak encer. Ban terdiri dari bahan karet atau polimer yang sangat kuat diperkuat dengan serat-serat sintetis yang sangat kuat yang dapat menghasilkan suatu bahan yang mempunyai sifat-

sifat unik seperti kekuatan tarik yang sangat kuat, fleksibel, ketahanan pergeseran yang tinggi [13]

Tabel 2.7 Kandungan Ban

<i>Properties</i>	<i>Value</i>
<i>Density (g/m³)</i>	<i>1.1</i>
<i>Conductivity (W/mK)</i>	<i>0.35</i>
<i>Spesific heat (J/kgK)</i>	<i>1417</i>
<i>Pyrolysis temperature (F)</i>	<i>635</i>

2.4 Penelitian Terdahulu

2.4.1 Pengaruh penambahan bahan karet pada LASTON

Penelitian pemanfaatan limbah ban karet sebagai material pengganti aspal telah banyak dilakukan sebelumnya. Berikut uraian penelitian terdahulu:

- a. Charly Laos et al. (2015), Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet Pada Campuran Laston Untuk Perkerasan Jalan Raya. [14]

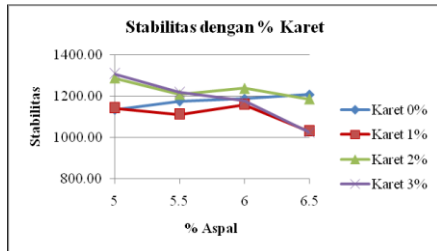
Proporsi campuran limbah ban karet: 1%, 2%, 3%

Metode Pencampuran : Tidak Disebutkan

Hasil yang didapat :

Setelah benda uji dilakukan pengetesan dengan metode Marshall kemudian didapatkan pembacaan stabilitas dan *flow*. Hasil dari pengetesan Marshall kemudian diolah untuk mendapatkan enam nilai dari parameter, yaitu :

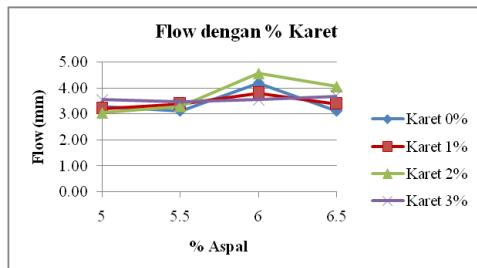
➤ Hubungan Penambahan Serbuk Ban Karet dengan Stabilitas



Gambar 2.2 Hubungan Stabilitas dengan Penambahan Kadar Karet

Dari hasil **Gambar 2.2.** yang telah digambarkan dapat dilihat bahwa dengan bertambahnya jumlah kadar aspal dalam suatu benda uji tidak membuat nilai stabilitasnya meningkat secara linear. **Gambar 2.2.** menunjukkan penambahan serbuk ban karet sebesar 2% dan 3% menambah nilai stabilitas pada kadar aspal 5,0%-5,7%.

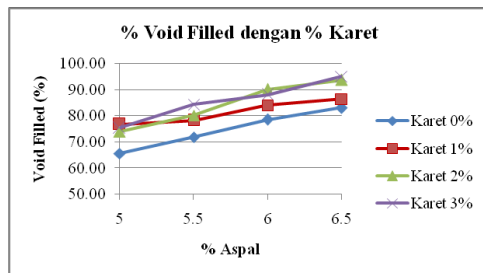
➤ Flow



Gambar 2.3 Hubungan Flow dengan Penambahan Kadar Karet

Dengan seiringnya penambahan serbuk ban karet, dapat dilihat pada **Gambar 2.3.** hasil pembacaan *flow* memberikan hasil yang tidak linear, ada yang nilainya lebih besar dibandingkan tanpa serbuk ban karet (karet 2%) dan hasilnya lebih banyak yang lebih rendah dibandingkan tanpa serbuk ban karet. Hal ini perlu menjadi perhatian dalam menggunakan material ini sebagai bahan pengikat mengingat nilai *flow* adalah fungsi dari kekakuan aspal dan kadar aspal dalam campuran. Semakin rendah nilai *flow* dapat mengakibatkan perkerasan jalan semakin kaku sehingga jalan semakin mudah untuk retak.

➤ *Void Filled with Asphalt*

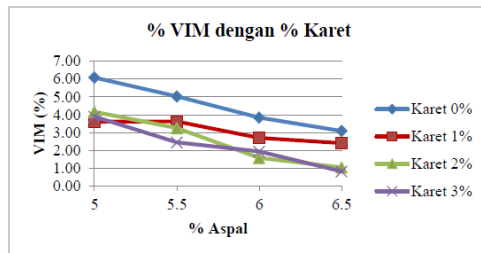


Gambar 2.4 Hubungan Void Filled dengan Penambahan Kadar Karet

Void filled memiliki hubungan yang terbalik dari besaran *VIM*. Dengan semakin meningkatnya nilai *void filled*, berarti semakin kecil nilai dari *VIM* dalam suatu benda uji. Dari **Gambar 2.4.** dapat

dilihat bahwa semakin tinggi kadar aspalnya maka semakin tinggi juga nilai persentase *void filled* yang didapatkan. Penambahan serbuk karet kedalam campuran juga ikut meningkatkan nilai *void filled* dalam campuran.

➤ *VIM*

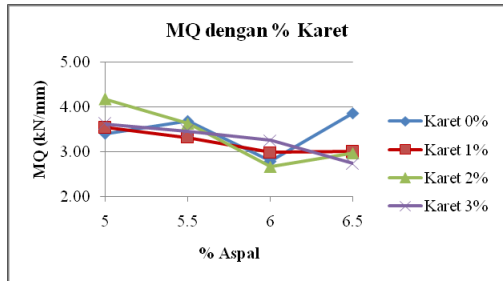


Gambar 2.5 Hubungan VIM dengan Penambahan Kadar Karet

Pada **Gambar 2.5**, menunjukkan *VIM* menjadi semakin kecil seiring dengan penambahan serbuk ban karet. Pada sampel 6,5% dengan serbuk ban karet 3% yang paling menunjukkan perubahan yang signifikan dimana nilai *VIM* kurang dari 1%. Perlu diperhatikan juga bahwa penggunaan serbuk ban karet membuat benda uji dengan campuran serbuk ban tidak memenuhi spesifikasi *VIM*, karena batas maksimum (5,5%) dan minimum (3%). Nilai *VIM* yang didapatkan dari hasil pengujian benda uji menjadi hal yang sangat penting. Nilai *VIM* dalam suatu campuran perkerasan sangat berkaitan dengan stabilitas, ketahanan (*durability*) dan kedekatan

terhadap air (*permeability*) suatu lapisan perkerasan jalan.

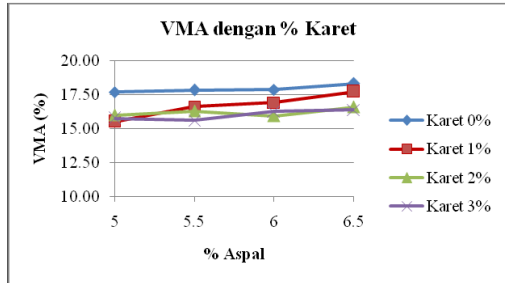
➤ *MQ*



Gambar 2.6 Hubungan MQ dengan Penambahan Kadar Karet

Hubungan MQ dengan penambahan kadar aspal dan serbuk ban karet dapat dilihat dari **Gambar 2.6.**, dimana dapat disimpulkan semakin bertambahnya kadar karet maka nilai MQ tidak memberikan hasil yang konstan, bertambah besar dalam range 5,0%-6,0% dan selebihnya lebih kecil dibandingkan tanpa karet. *MQ* yang rendah mengindikasikan bahwa campuran akan semakin mudah mengalami keretakan.

➤ VMA



Gambar 2.7 Hubungan VMA dengan Penambahan Kadar Karet

Dari grafik pada **Gambar 2.7.** dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya kadar karet maka nilai VMA juga semakin menurun. Hasil yang didapatkan dari setiap penambahan serbuk ban karet meskipun memiliki nilai yang lebih rendah jika dibandingkan dengan campuran tanpa karet namun masih diatas batas spesifikasi minimum, sehingga masih dapat digunakan sebagai campuran lapisan perkerasan.

Dari hasil penelitian dan evaluasi yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan serbuk ban karet pada aspal minyak dalam campuran laston menunjukkan bertambahnya nilai stabilitas dari kadar aspal 5,0% – 5,5% dengan tambahan serbuk ban karet 2% dan 3% dibandingkan tanpa serbuk ban. Didapatkan juga nilai *Void Filled* semakin besar, sedangkan nilai *VIM* dan *VMA* semakin kecil.

Namun, untuk nilai *flow* dan *MQ* tidak memberikan hasil yang konstan.

2. Kadar Aspal Optimum untuk tiap kadar karet : 0%, 1%, 2% dan 3% berurutan sebagai berikut 6,0%, 5,45%, 5,3%, dan 5,2%.
3. Dengan menggunakan serbuk ban karet dalam campuran laston dapat mengurangi penggunaan aspal dengan mendapatkan nilai stabilitas yang sama bahkan bisa lebih baik.

Berdasarkan hasil penelitian ini diusulkan beberapa saran sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh ukuran serbuk ban karet jika digunakan dalam campuran aspal. Penggunaan serbuk ban bekas dengan *mesh* 80 dilakukan untuk mencari apakah memberikan hasil yang sama dari penelitian *mesh* 40.
 2. Mengetahui cara untuk melelehkan serbuk ban karet agar lebih homogen
- b. Cut Khairani et al. (2018), Uji Marshall pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) dengan Tambahan Parutan Ban Bekas. [2]

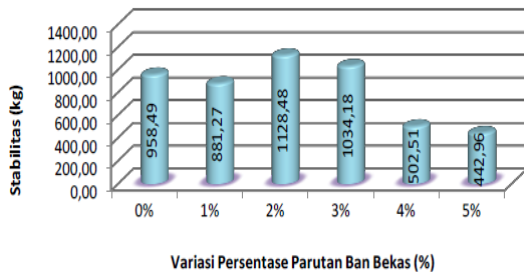
Proporsi campuran limbah ban karet: 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%

Metode Pencampuran : Metode Kering

Hasil yang didapat :

Setelah benda uji dilakukan pengetesan dengan metode *Marshall* kemudian dibandingkan terhadap enam nilai dari parameter, yaitu :

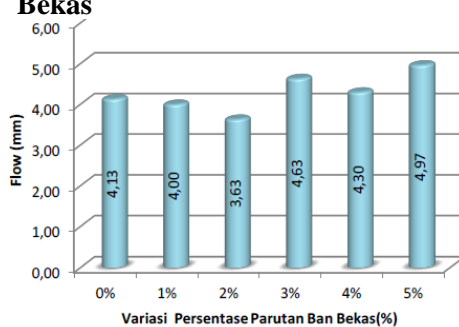
➤ Hubungan Stabilitas dan Kadar Serbuk Ban Bekas



Gambar 2.8 Hubungan Stabilitas dan Kadar Serbuk Ban Bekas

Pada **Gambar 2.8** dapat dilihat bahwa penambahan serbuk ban bekas mempengaruhi nilai stabilitas. Penggunaan 2% parutan ban bekas mempunyai stabilitas tertinggi yaitu 1128,48 Kg. Pada persentase parutan 4% dan 5% nilai stabilitas rata-rata tidak memenuhi spesifikasi minimum. Hal ini dapat terjadi karena persentase parutan ban terlalu tinggi sehingga aspal tidak efektif lagi menyelimuti agregat

➤ Hubungan *flow* dan Kadar Serbuk Ban Bekas

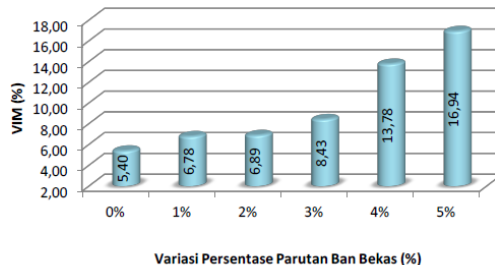


Gambar 3. Grafik *Flow*

Gambar 2.9 Hubungan *flow* dan Kadar Serbuk Ban Bekas

Pada **Gambar 2.9** Nilai *flow* mengalami peningkatan dan penurunan pada semua substitusi persentase ban Nilai *flow* rata-rata yang tinggi disebabkan oleh kadar parutan ban yang terlalu tinggi sehingga perkerasan akan mudah mengalami perubahan bentuk.

➤ Hubungan VIM dan Kadar Serbuk Ban Bekas

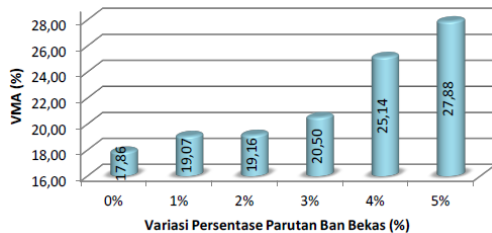


Gambar 6. Grafik VIM

Gambar 2.10 Hubungan VIM dan Kadar Serbuk Ban Bekas

Pada **Gambar 2.10** Nilai VIM cenderung semakin besar seiring dengan peningkatan kadar parutan ban. Nilai VIM yang tinggi dapat menimbulkan oksidasi/penuaan aspal dengan masuknya udara sehingga campuran bersifat *porous*. Nilai VIM tidak ada yang memenuhi persyaratan untuk campuran beton aspal AC-BC yaitu 3% - 5%.

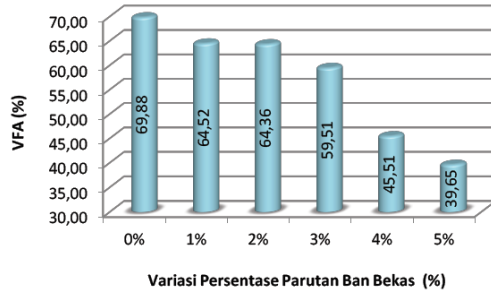
➤ Hubungan VMA dan Kadar Serbuk Ban Bekas



Gambar 2.11 Hubungan VMA dan Kadar Serbuk Ban Bekas

Pada **Gambar 2.11** Nilai VMA terus meningkat seiring dengan bertambahnya kadar parutan ban dalam campuran. Besar kecilnya nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal yang menyelimuti agregat, kadar aspal yang besar akan membentuk selimut butir agregat yang tebal, akibatnya rongga antar agregat semakin besar. Sebaliknya, kadar aspal yang sedikit akan menghasilkan selimut agregat yang tipis, sehingga rongga antar agregat semakin kecil.

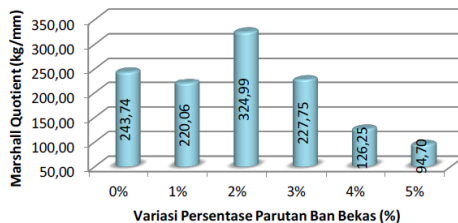
➤ Hubungan VFA dan Kadar Serbuk Ban Bekas



Gambar 2.12 Hubungan VFA dan Kadar Serbuk Ban Bekas

Pada **Gambar 2.12** Nilai VFA semakin menurun seiring dengan bertambahnya kadar parutan ban. Hal ini disebabkan pada saat pencampuran, parutan ban bekas tidak larut ke dalam aspal, masih berbentuk butiran agregat yang juga ikut diselimuti aspal dan mengurangi jumlah aspal yang seharusnya mengisi rongga dalam campuran.

➤ Hubungan MQ dan Kadar Serbuk Ban Bekas



Gambar 4. Grafik MQ

Gambar 2.13 Hubungan MQ dan Kadar Serbuk Ban Bekas

Pada **Gambar 2.13** Nilai MQ meningkat pada pemakaian 2% parutan ban. Besarnya nilai MQ yang diperoleh memberikan indikasi bahwa campuran aspal semakin kaku dan kurang lentur.

Dari hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil penelitian menunjukkan penambahan persentase parutan ban bekas sebagai bahan pengganti agregat dalam campuran beton aspal AC-BC, mempengaruhi nilai parameter Marshall, yaitu nilai stabilitas, *flow*, *Marshall quotient*, VIM, VMA dan VFA. Sedangkan nilai Density tidak ada pengaruh akibat bertambahnya persentase parutan ban bekas. Secara keseluruhan dengan adanya bahan parutan ban bekas sebagai substitusi dari agregat pada campuran aspal, maka nilai stabilitas campuran semakin meningkat.
2. Penggunaan 2% parutan ban bekas mempunyai stabilitas tertinggi yaitu 1128,48 Kg. Sedangkan nilai durabilitas tertinggi ada pada penggunaan 1% parutan ban bekas dengan nilai 93,82%.
3. Penggunaan parutan ban bekas sebagai pengganti bahan agregat belum dapat digunakan karena nilai *flow*, *Marshall quotient*, VIM dan

VFA yang ditentukan berdasarkan spesifikasi teknis Bina Marga (2014).

Berdasarkan hasil penelitian ini diusulkan beberapa saran sebagai berikut:

1. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat dilihat mengenai penggunaan parutan ban bekas sebagai substitusi aspal, sehingga diperoleh formula yang paling optimum untuk menggantikan sebagian aspal dengan parutan karet ban bekas sehingga dapat diketahui kinerja dari campuran AC-BC yang masih memenuhi spesifikasi Bina Marga Tahun 2010.
2. Perlu kiranya dilakukan penelitian tentang susunan kimia dari parutan ban bekas setelah dicampur dengan aspal dan agregat batu pecah.

2.5 Perencanaan Kadar Aspal

Untuk mendapatkan kadar aspal rencana (tengah/ideal) tersebut dapat digunakan persamaan rumus:

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

dengan:

P_b : Kadar aspal rencana (tengah/ideal), persen terhadap berat campuran

CA : Agregat kasar, persen agregat tertahan saringan No. 8

FA : Agregat halus, persen agregat lolos saringan No.8 tertahan saringan No. 200

FF : Persen agregat minimal 75% lolos No. 200

K : Konstanta

Nilai K sekitar 0,5 – 1,0 untuk AC dan 2,0 – 3,0 untuk HRS

2.6 Pengujian Marshall

Setelah semua benda uji dibuat maka tahapan selanjutnya adalah melakukan pengujian untuk memperoleh hasil yang diinginkan dengan alat yang bernama *Marshall Test*. *Marshall Test* merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) yang berkapasitas 2500 kg atau 5000 pon. *Proving ring* dilengkapi dengan arloji pengukur yang berguna untuk mengukur stabilitas campuran, sedangkan arloji kelelahan (*flow meter*) berfungsi untuk mengukur kelelahan plastis (*flow*). Setelah dilakukan *Marshall Test*, metode marshall akan diperoleh data- data sebagai berikut [15]:

1. Stabilitas yang dinyatakan dalam bilangan bulat. Stabilitas menunjukkan kekuatan dan ketahanan terhadap terjadinya alur (*ruting*).
2. Kelelahan plastis (*flow*) yang dinyatakan dalam mm atau 0,01 inch. *Flow* dapat digunakan sebagai indikator terhadap lentur.
3. VIM yang merupakan persen rongga dalam campuran dan dinyatakan dalam bilangan desimal satu angka belakang koma. VIM merupakan indikator dari durabilitas.
4. VMA yang merupakan persen rongga terhadap agregat dan dinyatakan dalam bilangan bulat. VMA bersama dengan VIM merupakan indikator dari durabilitas.

2.7 Parameter Pengujian Marshall

2.7.1 *Density*

Jika kadar aspal naik, *density* ikut naik mencapai puncaknya lalu turun. Puncak kepampatan biasanya bersamaan dengan kadar aspal optimum dan stabilitas puncak. Kepampatan yang tinggi akan menghasilkan kemampuan untuk

menahan beban yang tinggi serta kedekatan terhadap air dan udara yang tinggi. [16]

Density merupakan tingkat kerapatan campuran setelah campuran dipadatkan. Nilai kepadatan dihitung dengan rumus berikut ini:

$$\text{Kepadatan} = \frac{W_m}{(W_{mssd} - W_{mpw})}$$

Keterangan :

W_m : Berat benda uji setelah dipadatkan, (gr)

W_{mssd} : Berat benda uji ssd setelah dipadatkan, (gr)

W_{mpw} : Berat benda uji dalam air setelah dipadatkan, (gr)

2.7.2 Rongga dalam campuran/*Void in Mix (VIM)*

VIM adalah volume total udara yang berada diantara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan, dinyatakan dengan persen volume bulk suatu campuran.

Rongga udara (VIM) setelah selesai dipadatkan idealnya adalah 8 %. Rongga udara yang kurang jauh dari 8 % akan rentan terhadap pelelehan, alur dan deformasi plastis. Sementara VIM setelah selesai pemadatan yang jauh dari 8 % akan rentan terhadap retak dan pelepasan butir (disintegrasi). Untuk mencapai nilai lapangan tersebut dalam spesifikasi, nilai VIM rencana dibatasi pada interval 3 % sampai 6 %. Dengan kepadatan lapangan dibatasi minimum 98 %.

Hasil penelitian di jalan-jalan utama (lalu-lintas berat) di Pulau Jawa menunjukkan perkerasan Laston yang mempunyai nilai VIM lapangan diatas 10 % umumnya sudah

menampakkan indikasi awal terjadinya retak. Sementara perkerasan yang mulai menampakkan indikasi awal terjadinya deformasi plastis umumnya sudah mempunyai VIM lapangan di bawah 3 %.

Tujuan perencanaan VIM adalah untuk membatasi penyesuaian kadar aspal rencana pada kondisi VIM mencapai tengah-tengah rentang spesifikasi, atau dalam hal khusus agar mendekati batas terendah rentang yang disyaratkan serta agar campuran mendekati kesesuaian dengan hasil uji di laboratorium

Nilai VIM dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan:

VIM : Rongga udara pada campuran, (%)

Gmm : Berat jenis campuran maksimum setelah pemadatan, (gr/cc)

Gmb : Berat jenis *bulk* campuran setelah pemadatan, (gr/cc)

2.7.3 Rongga dalam agregat/ *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

Rongga di antara mineral atau struktur agregat (VMA) suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan adalah volume rongga yang terdapat diantara partikel agregat suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, yaitu rongga udara dan volume kadar aspal efektif, yang dinyatakan dalam persen terhadap volume total benda uji. Volume agregat dihitung dari berat jenis bulk (bukan berat jenis efektif atau berat jenis nyata).

VMA adalah kadar persentase ruang rongga diantara partikel agregat pada benda uji, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Nilai VMA yang disyaratkan adalah minimal 14 % sesuai dengan persyaratan Bina Marga 2010. VMA dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{VMA} = 100 - \frac{\text{Gmb}}{\text{Gsb}} \times \frac{100}{100 + \text{Pb}} \times 100$$

Keterangan :

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, (%)

Gmb : Berat jenis *bulk* campuran setelah pemadatan, (gr/cc)

Gsb : Berat jenis *bulk* dari total agregat, (gr/cc)

P_s : Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran (%)

2.7.4 Rongga terisi campuran beraspal/*Void in Filled with Asphalt (VFA)*

VFA adalah bagian dari rongga yang berada diantara mineral agregat (VMA) yang terisi oleh aspal efektif, dinyatakan dalam persen.

Kriteria VFA bertujuan menjaga keawetan campuran beraspal dengan memberi batasan yang cukup. Pada gradasi yang sama, semakin tinggi nilai VFA makin banyak kadar aspal campuran tersebut. Sehingga kriteria VFA dapat menggantikan kriteria kadar aspal dan tebal lapisan film aspal (*asphalt film thicknes*).

VFA, VMA dan VIM saling berhubungan karena itu bila dua di antaranya diketahui maka

dapat mengevaluasi yang lainnya. Kriteria VFA membantu perencanaan campuran dengan memberikan VMA yang dapat diterima.

Kriteria VFA menyediakan tambahan faktor keamanan dalam merencanakan dan melaksanakan campuran beraspal panas. Karena perubahan dapat terjadi antara tahap perencanaan dan pelaksanaan, maka kesalahan-kesalahan dapat ditampung dengan memperlebar rentang yang dapat diterima. VFA merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Nilai VFA yang disyaratkan adalah minimal 65%. Nilai VFA dapat dihitung dengan rumus seperti berikut:

$$VFA = \frac{VMA - VIM}{VMA} \times 100$$

Keterangan :

VFA : Persentase rongga udara yang terisi aspal, (%)

VMA: Persentase rongga udara pada mineral agregat, (%)

VIM : Persentase rongga udara pada campuran, (%)

2.7.5 Stabilitas Marshall

Nilai stabilitas benda uji diperoleh dari pembacaan arloji stabilitas pada saat pengujian dengan alat marshall. Selanjutnya dicocokkan dengan angka kalibrasi *proving ring* dengan satuan lbs atau kilogram, dan masih harus dikoreksi dengan faktor koreksi tebal benda uji. Berikut adalah rumus untuk mencari nilai stabilitas:

$$S = p \times q$$

Keterangan :

S = Nilai stabilitas (kg)

p = Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

q = Angka koreksi tebal benda uji

2.7.6 Kelelahan (*flow*)

Kelelahan (*flow*) adalah deformasi vertikal yang terjadi mulai awal pembebanan sampai kondisi stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya. Besarnya nilai *flow* dinyatakan dalam mm atau 0,01". Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal, viskositas aspal, gradasi agregat, jumlah dan temperatur pemadatan.

2.7.7 Marshall quotient (MQ)

Marshall quotient adalah hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Nilai *marshall quotient* yang disyaratkan adalah lebih besar dari 250 kg/mm sesuai dengan persyaratan Bina Marga 2010. Nilai dari *marshall quotient* diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$MQ = S / F$$

Keterangan :

MQ : Nilai *marshall quotient*, (kg/mm)

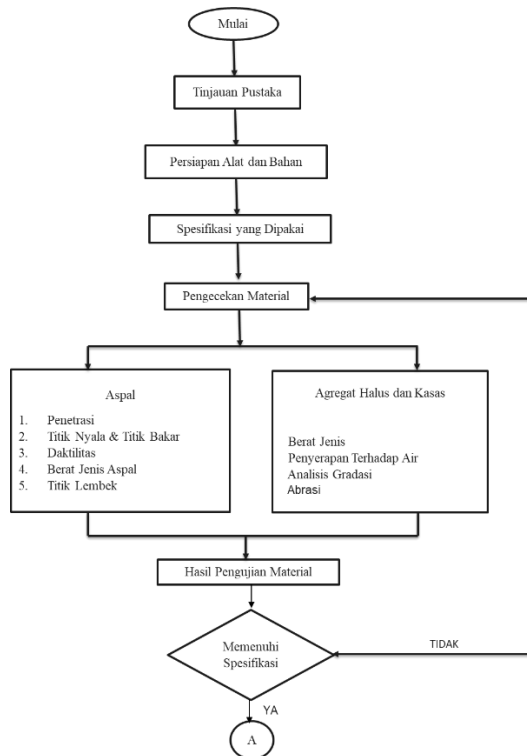
S : Nilai stabilitas, (kg)

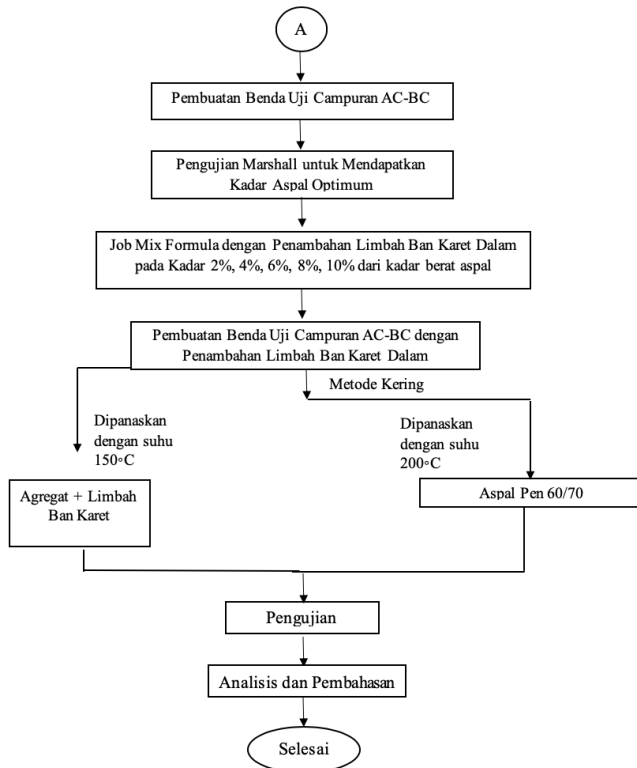
F : Nilai *flow*, (mm)

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir ini merupakan garis metode yang berisi dasar dan alur pemikiran sebagai langkah kerja tahapan penelitian. Diagram dapat dilihat pada gambar 3.1.





Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

3.2 Tempat Penelitian

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

3.3 Persiapan Alat dan Bahan

a. Peralatan

✚ Alat Uji Aspal

Dalam pengujian aspal, dibutuhkan alat uji yang meliputi:

- Alat Uji Penetrasi
Alat yang digunakan dalam pengujian ini meliputi cawan, termometer, penetrometer, dan jarum penetrasi.
- Alat Uji Titik Lembek
Alat yang digunakan dalam pengujian ini meliputi termometer, cincin kuning, bola baja, dan penjepit.
- Alat Uji Titik Nyala dan Titik Bakar
Alat yang digunakan dalam pengujian ini meliputi kompor, *cleveland open cup*, termometer, pemantik, dan *stopwatch*.
- Alat Uji Daktilitas
Alat yang digunakan dalam pengujian ini meliputi cetakan kuning, bak perendam, termometer, mesin uji yang dapat menjaga sampel tetap terendam, dan alat pemanas.
- Alat Uji Berat Jenis
Alat yang digunakan dalam pengujian ini meliputi piknometer, oven, timbangan digital, dan corong kaca.

✚ Alat Uji Agregat

Dalam pengujian agregat, dibutuhkan alat uji yang meliputi:

- Alat Uji Analisis Saringan
Alat yang digunakan dalam pengujian ini meliputi satu set saringan (ukuran 37,5 mm (3"); 50,8 mm (2"); 19,1 mm (3/4"); 12,5 mm (1/2"); 9,5 mm (3/8"); 4,75 mm (No. 4);

2,36 mm (No. 8); 1,18 mm (No.16); 0,600 mm (No. 30); 0,300 mm (No. 50); 0,150 mm (No.100); 0,075 mm (No. 200), timbangan digital

- Alat Uji Berat Jenis
Alat yang digunakan dalam pengujian ini meliputi timbangan, ember, bak perendam, oven, dan saringan.
- Alat Uji Abrasi
Alat yang digunakan dalam pengujian ini meliputi mesin abrasi Los Angeles, bola-bola baja, saringan no.12, neraca, dan oven.
- Alat Uji Penyerapan Terhadap Air
Alat yang digunakan dalam pengujian ini meliputi timbangan, ember, bak perendam, oven, dan saringan.

Alat Uji Parameter Marshall

Dalam pengujian Marshall, dibutuhkan alat uji yang meliputi:

- Alat tekan marshall yaitu kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji kapasitas 5000 lbs (2500 kg) yang dilengkapi arloji pengukur flow dan stabilitas.
- Benda uji bentuk silinder

b. Bahan

Bahan dalam suatu pengujian dibedakan menjadi dua, yakni bahan yang akan diuji dan bahan penunjang sebagai bahan yang menunjang proses pengujian. Bahan pengujian dalam praktikum ini adalah aspal, sedangkan bahan penunjangnya yaitu agregat halus, agregat kasar, limbah ban dalam bekas, dan minyak tanah

1. Aspal

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah Aspal *Penetration* : 60/70.



Gambar 3.2 Aspal Pen 60/70

Sumber: www.google.com

2. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar yang digunakan sebagai bahan pengisi.



Gambar 3.3 Agregat Kasar

Sumber: www.google.com

3. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar yang digunakan sebagai bahan pengisi.



Gambar 3.4 Agregat Halus

Sumber: www.google.com

4. Limbah ban dalam bekas kendaraan

Limbah ban dalam bekas kendaraan yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari pengepul tambal ban yang dipotong kecil berukuran kurang lebih 1,5 cm x 1,5 cm.



Gambar 3.5 Limbah Ban Karet

Sumber: www.google.com

5. Solar

Solar berfungsi sebagai pembersih alat-alat yang terkena aspal setelah pengujian.



Gambar 3.6 Solar

Sumber: www.google.com

3.4 Pembuatan Benda Uji AC-BC Konvensional

- a. Menimbang agregat dan aspal sesuai dengan berat prosentase agregat campuran yang telah dihitung, penimbangan material dilakukan sesuai dengan benda uji sebanyak yang dibutuhkan dengan kadar aspal rencana. Berat masing-masing benda uji adalah 1200 gr.
- b. Lalu memanaskan agregat kasar dan halus untuk pencampuran menggunakan kompor dengan suhu 150-200°C
- c. Kemudian memanaskan aspal untuk pencampuran menggunakan kompor dengan suhu 145°C
- d. Lalu agregat, dicampur dengan aspal yang telah panas hingga homogen dan agregat terselimuti aspal.
- e. Lalu siapkan cetakan dan kertas saring untuk diletakkan di dasar cetakan dan dioleskan oli agar campuran aspal tidak melekat.

- f. Kemudian masukkan seluruh campuran aspal ke dalam cetakan dan tusuk-tusuk campuran dengan alat penusuk, agar tidak ada rongga kosong.
- g. Kemudian melakukan pemadatan dengan menggunakan Marshall Automatic Compactor dengan jumlah tumbukan 75 kali (lalu lintas berat).
- h. Lalu benda uji dikeluarkan dan dibalik untuk pemadatan di sisi lainnya dengan jumlah tumbukan dan suhu yang sama.
- i. Benda uji dikeluarkan dari alat pemadatan dan ditingkatkan 24 jam pada suhu ruang, setelah itu benda uji dikeluarkan dari cetakan menggunakan ejektor dan diberi kode.
- j. Benda uji dibersihkan dari kotoran kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji kering.
- k. Benda uji direndam dalam air selama 24 jam supaya jenuh.
- l. Ditimbang dalam air untuk mendapat berat benda uji dalam air.
- m. Kemudian benda uji dikeluarkan dari bak perendam dan dikeringkan dengan kain lap sampai permukaan kering dan didapatkan berat SSD (*saturated surface dry*) kemudian ditimbang.

3.5 Pembuatan Benda Uji AC-BC Modifikasi dengan Penambahan Limbah Ban Karet

- a. Menimbang agregat dan aspal sesuai dengan berat prosentase agregat campuran yang telah dihitung, penimbangan material dilakukan sesuai dengan benda uji sebanyak yang dibutuhkan dengan kadar aspal optimum yang telah didapat dari pembuatan benda uji tanpa campuran sebelumnya dan variasi kadar limbah ban karet sebesar 2%, 4%, 6%, 8%, 10%. Berat masing-masing benda uji adalah 1200 gr.

- b. Kemudian memanaskan aspal untuk pencampuran menggunakan kompor dengan suhu 145°C
Lalu memanaskan agregat kasar dan halus untuk pencampuran menggunakan kompor dengan suhu $150-200^{\circ}\text{C}$.
Catatan: Pencampuran ini menggunakan metode campuran kering pada suhu $150^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$. Dengan tahapan limbah ban karet dimasukkan terlebih dahulu ke dalam wajan kemudian saat sudah setengah leleh lalu agregat dimasukkan, agar karet dapat lebih menempel dengan agregat
- c. Lalu agregat yang telah tercampur dengan limbah ban karet, dicampur dengan aspal yang telah panas, kemudian dicampur hingga homogen dan agregat terselimuti aspal.
- d. Lalu siapkan cetakan dan kertas saring untuk diletakkan di dasar cetakan dan dioleskan oli agar campuran aspal tidak melekat.
- e. Kemudian masukkan seluruh campuran aspal ke dalam cetakan dan tusuk-tusuk campuran dengan alat penusuk, agar tidak ada rongga kosong.
- f. Kemudian melakukan pemadatan dengan menggunakan Marshall Automatic Compactor dengan jumlah tumbukan 75 kali (lalu lintas berat)
- g. Lalu benda uji dikeluarkan dan dibalik untuk pemadatan di sisi lainnya dengan jumlah tumbukan dan suhu yang sama.
- h. Benda uji dikeluarkan dari alat pemadatan dan didiamkan 24 jam pada suhu ruang, setelah itu benda uji dikeluarkan dari cetakan menggunakan ejektor dan diberi kode.
- i. Benda uji dibersihkan dari kotoran kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji kering.
- j. Benda uji direndam dalam air selama 24 jam supaya jenuh.

- k. Ditimbang dalam air untuk mendapat berat benda uji dalam air.
- l. Kemudian benda uji dikeluarkan dari bak perendam dan dikeringkan dengan kain lap sampai permukaan kering dan didapatkan berat SSD (*saturated surface dry*) kemudian ditimbang.

3.6 Variasi Benda Uji

Teknik pencampuran yang digunakan adalah dengan metode kering, yaitu pencampuran limbah dimasukkan dalam campuran agregat panas dan diaduk hingga homogen. Berikut rencana kode benda uji pada tabel 3.1 dan tabel 3.2.

Tabel 3.1 Benda Uji Aspal Konvensional Tanpa Penambahan Limbah Ban Karet

KODE	KADAR ASPEL PEN 60/70	JUMLAH BENDA UJI
HK1	5,00%	3
HK2	5,50%	3
HK3	6,00%	3
HK4	6,50%	3
HK5	7,00%	3

Tabel 3.2 Benda Uji Aspal Modifikasi Dengan Penambahan Limbah Ban Karet

KODE	KADAR ASPAL PEN 60/70	KADAR LIMBAH BAN	JUMLAH BENDA UJI
HN1	KADAR ASPAL OPTIMUM	2,00%	3
HN2		4,00%	3
HN3		6,00%	3
HN4		8,00%	3
HN5		10,00%	3

3.7 Pengujian dengan Tes Marshall

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan (flow) dari campuran aspal sesuai dengan SNI 06-2489-1991. Berikut langkah pengujian dengan alat Marshall otomatis:

- Keluarkan benda uji dari bak perendam dan letakkan ke dalam segmen bawah kepala penekan.
- Pasang segmen atas di atas benda uji, dan letakkan keseluruhnya dalam mesin penguji.
- Atur jarum dial stabilitas dan flow pada angka nol.
- Pembebanan dilakukan dengan kecepatan tetap (2 inch.) per menit, dibaca pada saat dial pembebanan berhenti dan mulai kembali berputar menurun, pada saat itu juga dibaca dial flow. Titik pembacaan pada saat dial pembebanan berhenti dan mulai kembali menurun, itu merupakan nilai stabilitas *Marshall*.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Material

Pengujian material dilakukan untuk mengetahui material yang akan digunakan dalam penelitian ini memenuhi spesifikasi atau tidak. Jika material memenuhi spesifikasi fisik serta spesifikasi Laston Lapis Antara, maka bisa dilakukan tahap selanjutnya. Jika tidak, harus dilakukan pengecekan ulang atau mengganti material yang sudah ada. Material agregat yang digunakan berasal dari PT Calvary Abadi dan Aspal Penetrasi 60/70 yang digunakan berasal dari PT Bumindo Mojokerto.

Pengujian material yang dilakukan dalam penelitian ini berdasarkan acuan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*. Pengujian material yang diujikan meliputi : Sifat agregat (kasar, sedang, dan halus) dan pemeriksaan sifat fisik aspal pen. 60/70.

4.1.1 Analisa Saringan Agregat

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

1. Agregat Kasar (CA) 10-20 mm

Tabel 4.1 Agregat Kasar (CA) 10-20 mm

Saringan No.	Berat Tertahan (mm)				Jumlah Tertahan	Persentase	
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Rata- Rata		Tertahan	Lolos
1	0	0	0	0	0	0	100
3/4	1669.2	1490.6	1365.5	1508.433	1508.433	50.28111	49.71889
1/2	1324.7	1509.9	1632.6	1489.067	2997.5	99.91667	0.083333
3/8	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0
200	0	0	0	0	0	0	0
Pan	0	0	0	0	0	0	0
Jumlah	2993.9	3000.5	2998.1	2997.5			

Penjelasan dan contoh perhitungan analisa agregat pada **tabel 4.1** dapat dilihat seperti contoh dibawah ini :

- Berat sampel agregat sebelum dilakukan penyaringan pada percobaan diatas adalah 3000 gram
- Berat agregat setelah dilakukan penyaringan adalah 2997.5 gram
- Contoh perhitungan jumlah berat tertahan:
 - Saringan 1/2" = Jumlah berat tertahan saringan 3/4" + Rata-rata berat tertahan saringan 1/2"

$$= 1508,433 + 1489,067$$

$$\text{gram}$$

$$= 2997,5 \text{ gram}$$
 - Contoh perhitungan jumlah % tertahan :
 - Saringan 1/2" =
$$\frac{\text{Jumlah berat tertahan } 1/2''}{\text{Berat Sampel}} \times 100\%$$

$$= \frac{2997,5}{3000} \times 100\%$$

- = 99,92%
- Contoh perhitungan jumlah % lolos :
 - Saringan $\frac{1}{2}$ " = 100% - Persentase tertahan $\frac{1}{2}$ "
 - = 100% - 99,92
 - = 0,08%

2. Agregat Sedang (MA) 10-10 mm

Tabel 4.2 Agregat Sedang (MA) 10-10 mm

Saringan	Berat Tertahan (mm)				Jumlah		Persentase	
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Rata-Rata	Tertahan	Tertahan	Lolos	
1	0	0	0	0	0	0	100	
3/4	0	0	0	0	0	0	100	
1/2	812	614	675.6	700.5333	700.5333	23.35111	76.64889	
3/8	1550.9	1449.3	1549.1	1516.433	2216.967	73.89889	26.10111	
4	630.3	937.5	772.8	780.2	2997.167	99.90556	0.094444	
8	0	0	0	0	0	0	0	
16	0	0	0	0	0	0	0	
30	0	0	0	0	0	0	0	
50	0	0	0	0	0	0	0	
100	0	0	0	0	0	0	0	
200	0	0	0	0	0	0	0	
Pan	0	0	0	0	0	0	0	
Jumlah	2993.2	3000.8	2997.5	2997.167				

Penjelasan dan contoh perhitungan analisa agregat pada **tabel 4.2** dapat dilihat seperti contoh dibawah ini :

- Berat sampel agregat sebelum dilakukan penyaringan pada percobaan diatas adalah 3000 gram
- Berat agregat setelah dilakukan penyaringan adalah 2997.167 gram
- Contoh perhitungan jumlah berat tertahan:
 - Saringan $\frac{3}{8}$ " = Jumlah berat tertahan saringan $\frac{1}{2}$ " + Rata-rata berat tertahan saringan $\frac{3}{8}$ "

$$= 700,533 + 1516,43$$

gram

$$= 2216,97 \text{ gram}$$

➤ Contoh perhitungan jumlah % tertahan:

○ Saringan 3/8" =

$$\frac{\text{Jumlah berat tertahan } 3/8''}{\text{Berat Sampel}}$$

x 100%

$$= \frac{2216,97}{3000} \times 100\%$$

$$= 73,90\%$$

➤ Contoh perhitungan jumlah % lolos :

○ Saringan 3/8" = 100% - Persentase tertahan 3/8"

$$= 100\% - 73,90\%$$

$$= 26,10\%$$

3. Agregat Sedang (MA) 5-10 mm

Tabel 4.3 Agregat Sedang (MA) 5-10 mm

Saringan	Berat Tertahan (mm)				Jumlah Tertahan	Persentase	
	No.	Sample 1	Sample 2	Sample 3		Rata-Rata	Tertahan
1	0	0	0	0	0	0	100
3/4	0	0	0	0	0	0	100
1/2	0	0	0	0	0	0	100
3/8	0	0	0	0	0	0	100
4	1395,4	1433,9	1460,5	1429,933	1429,933	47,66444	52,33556
8	1598,3	1567	1538	1567,767	2997,7	99,92333	0,07667
16	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0
200	0	0	0	0	0	0	0
Pan	0	0	0	0	0	0	0
Jumlah	2993,7	3000,9	2998,5	2997,7			

Penjelasan dan contoh perhitungan analisa agregat pada **tabel 4.3** dapat dilihat seperti contoh dibawah ini :

- Berat sampel agregat sebelum dilakukan penyaringan pada percobaan diatas adalah 3000 gram
- Berat agregat setelah dilakukan penyaringan adalah 2997.7 gram
- Contoh perhitungan jumlah berat tertahan:
 - Saringan No.8 = Jumlah berat tertahan saringan no 4 + Rata-rata berat tertahan saringan no.8

$$= 1429,93 + 1567,77$$

$$\text{gram}$$

$$= 2997,7 \text{ gram}$$
 - Contoh perhitungan jumlah % tertahan :
 - Saringan No.8 =
$$\frac{\text{Jumlah berat tertahan no.8}}{\text{Berat Sampel}} \times 100\%$$

$$= \frac{2997,7}{3000} \times 100\%$$

$$= 99,92\%$$
 - Contoh perhitungan jumlah % lolos :
 - Saringan No.8 =
$$100\% - \text{Persentase tertahan no.8}$$

$$= 100\% - 99,92\%$$

$$= 0,08\%$$

4. Agregat Halus (FA) 0-5 mm

Tabel 4.4 Agregat Halus (FA) 0-5 mm

Saringan	Berat Tertahan (mm)				Jumlah Tertahan	Persentase	
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Rata-Rata		Tertahan	Lolos
1	0	0	0	0	0	0	100
3/4	0	0	0	0	0	0	100
1/2	0	0	0	0	0	0	100
3/8	0	0	0	0	0	0	100
4	14.1	20.6	23	19.23333	19.23333	0.641111	99.35889
8	453.8	546	555	518.2667	537.5	17.91667	82.08333
16	874.9	978.2	970.8	941.3	1478.8	49.29333	50.70667
30	578.9	558.3	548.2	561.8	2040.6	68.02	31.98
50	529.1	455	448.9	477.6667	2518.267	83.94222	16.05778
100	253.4	212.2	213.2	226.2667	2744.533	91.48444	8.515556
200	107.6	76.5	88.8	90.96667	2835.5	94.51667	5.483333
Pan	184	151	145.1	160.0333	2995.533	99.85111	0.148889
Jumlah	2995.8	2997.8	2993	2995.533			

Penjelasan dan contoh perhitungan analisa agregat pada **tabel 4.4** dapat dilihat seperti contoh dibawah ini :

- Berat sampel agregat sebelum dilakukan penyaringan pada percobaan diatas adalah 3000 gram
- Berat agregat setelah dilakukan penyaringan adalah 2995,53 gram
- Contoh perhitungan jumlah berat tertahan:
 - Saringan Pan = Jumlah berat tertahan saringan no 200 + Rata-rata berat tertahan saringan pan
 - = 2835,5 + 160,03 gram
 - = 2995,53 gram

- Contoh perhitungan jumlah % tertahan :
 - Saringan Pan =
$$\frac{\text{Jumlah berat tertahan Pan}}{\text{Berat Sampel}} \times 100\%$$

$$= \frac{2995,53}{3000} \times 100\%$$

$$= 99,85\%$$
- Contoh perhitungan jumlah % lolos :
 - Saringan Pan = $100\% - \text{Persentase tertahan Pan}$

$$= 100\% - 99,85\%$$

$$= 0,15\%$$

4.1.2 Berat jenis dan penyerapan air agregat

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat ini bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), berat jenis semu dan penyerapan air agregat. Pada penelitian ini digunakan 4 jenis agregat yaitu agregat ukuran 10-20 mm, 10-10 mm, 5-10 mm, dan 0-5 mm yang dilakukan sebanyak 3 kali. Hasil uji berat jenis dan penyerapan air agregat tercantum dibawah ini:

a) Agregat Kasar (CA) 10-20 mm

Tabel 4.5 Agregat Kasar (CA) 10-20 mm

Jenis Pengujian	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Rata2
Benda Uji di rendam selama (Hari)	3	3	3	3
Berat Benda Uji Kering Oven Tertahan Saringan No 4 (B _k) (gram)	3000	3000	3000	3000
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh (B _i) (gram)	3023	3044.7	3023.4	3030.4333
Berat Benda Uji dalam Air (25°C)(B _a) (gram)	1907.8	1909.6	1896.2	1904.5333

- Perhitungan Berat Jenis Curah (*Bulk Specific Gravity*)

$$\frac{Bk}{Bj - Ba} = \frac{3000 \text{ gr}}{3030,43 \text{ gr} - 1904,53 \text{ gr}} \\ = 2,66$$

- Perhitungan Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)

$$\frac{Bj}{Bj - Ba} = \frac{3030,43 \text{ gr}}{3030,43 \text{ gr} - 1904,53 \text{ gr}} \\ = 2,69$$

- Perhitungan Berat Jenis Semu (*Apparent Specific Gravity*)

$$\frac{Bk}{Bk - Ba} = \frac{3000 \text{ gr}}{3000 \text{ gr} - 1904,53 \text{ gr}} \\ = 2,74$$

- Perhitungan Penyerapan Air

$$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100 \\ = \frac{3030,43 \text{ gr} - 3000 \text{ gr}}{3000 \text{ gr}} \times 100\% \\ = 1,01\%$$

Sesuai SNI 03-1969-1990, nilai penyerapan air $\leq 3\%$. Dari pengujian yang dilaksanakan nilai penyerapan air memenuhi spesifikasi yaitu 1,01%.

b) Agregat Medium (MA) 10-10 mm

Tabel 4.6 Agregat Medium (MA) 10-10 mm

Jenis Pengujian	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Rata2
Benda Uji di rendam selama (Hari)	3	3	3	3
Berat Benda Uji Kering Oven Tertahan Saringan No 4 (B _a) (gram)	3000	3000	3000	3000
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh (B _j) (gram)	3024.2	3065.9	3012.2	3034.1
Berat Benda Uji dalam Air (25°C)(B _a) (gram)	1911.9	1764.7	1887.4	1854.6667

- Perhitungan Berat Jenis Curah (*Bulk Specific Gravity*)

$$\frac{B_k}{B_j - B_a} = \frac{3000 \text{ gr}}{3034,1 \text{ gr} - 1854,67 \text{ gr}} = 2,54$$

- Perhitungan Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)

$$\frac{B_j}{B_j - B_a} = \frac{3034,1 \text{ gr}}{3034,1 \text{ gr} - 1854,67 \text{ gr}} = 2,57$$

- Perhitungan Berat Jenis Semu (*Apparent Specific Gravity*)

$$\frac{B_k}{B_k - B_a} = \frac{3000 \text{ gr}}{3000 \text{ gr} - 1854,67 \text{ gr}} = 2,62$$

- Perhitungan Penyerapan Air

$$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% = \frac{3034,1 \text{ gr} - 3000 \text{ gr}}{3000 \text{ gr}} \times 100\% = 1,14\%$$

Sesuai SNI 03-1969-1990, nilai penyerapan air $\leq 3\%$. Dari pegujian yang dilaksanakan nilai penyerapan air memenuhi spesifikasi yaitu 1,14%.

c) Agregat Medium (MA) 5-10 mm

Tabel 4.7 Agregat Medium (MA) 5-10 mm

Jenis Pengujian	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Rata2
Benda Uji di rendam selama (Hari)	3	3	3	3
Berat Benda Uji Kering Oven Tertahan Saringan No 4 (Ba) (gram)	2000	2000	2000	2000
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh (Bj) (gram)	2035.6	2024.6	2039.6	2033.2667
Berat Benda Uji dalam Air (25°C)(B _a) (gram)	1275	1277.5	1277.2	1276.5667

- Perhitungan Berat Jenis Curah (*Bulk Specific Gravity*)

$$\frac{Bk}{Bj - Ba} = \frac{2000 \text{ gr}}{2033,27 \text{ gr} - 1276,57 \text{ gr}} = 2,64$$

- Perhitungan Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)

$$\frac{Bj}{Bj - Ba} = \frac{2033,27 \text{ gr}}{2033,27 \text{ gr} - 1276,57 \text{ gr}} = 2,69$$

- Perhitungan Berat Jenis Semu (*Apparent Specific Gravity*)

$$\frac{Bk}{Bk - Ba} = \frac{2000 \text{ gr}}{2000 \text{ gr} - 1276,57 \text{ gr}} = 2,76$$

- Perhitungan Penyerapan Air

$$\begin{aligned} & \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \\ &= \frac{2033,27 \text{ gr} - 2000 \text{ gr}}{2000 \text{ gr}} \times 100\% \\ &= 1,66\% \end{aligned}$$

Sesuai SNI 03-1969-1990, nilai penyerapan air $\leq 3\%$. Dari pengujian yang dilaksanakan nilai penyerapan air memenuhi spesifikasi yaitu 1,66%

d) Agregat Halus (FA) 0-5 mm

Tabel 4.8 Agregat Halus (FA) 0-5 mm

Jenis Pengujian	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Rata2
Benda Uji di Rendam Air Selama (Hari)	3	3	3	3
Benda Uji Kering Permukaan Jenuh (SSD) (gram)	259.7	286.8	241	262.5
Berat Piknometer diisi Air (25°C) (B) (gram)	653.2	653.2	653.2	653.2
Berat Piknometer+ Agg SSD + Air (25°C) (Bt) (gram)	817.8	840.6	804.2	820.86667
Benda Uji Kering Oven (Bk) (gram)	243.9	291	229.9	254.93333

- Perhitungan Berat Jenis Curah (*Bulk Specific Gravity*)

$$\begin{aligned} & \frac{B_k}{B + SSD - Bt} \\ &= \frac{254,93 \text{ gr}}{653,2 \text{ gr} + 262,5 \text{ gr} - 820,86 \text{ gr}} \\ &= 2,69 \end{aligned}$$

- Perhitungan Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)

$$\frac{SSD}{B + SSD - Bt} = \frac{262,5 \text{ gr}}{653,2 \text{ gr} + 262,5 \text{ gr} - 820,86 \text{ gr}} = 2,77$$

- Perhitungan Berat Jenis Semu (*Apparent Specific Gravity*)

$$\frac{Bk}{B + Bk - Bt} = \frac{254,93 \text{ gr}}{653,2 \text{ gr} + 254,93 - 820,86 \text{ gr}} = 2,92$$

- Perhitungan Penyerapan Air (*SSD - Bk*)

$$\frac{Bk}{SSD - Bk} \times 100\% = \frac{262,5 \text{ gr} - 254,93 \text{ gr}}{254,93 \text{ gr}} \times 100\% = 2,97\%$$

Sesuai SNI 03-1969-1990, nilai penyerapan air $\leq 3\%$. Dari pegujian yang dilaksanakan nilai penyerapan air memenuhi spesifikasi yaitu 2,97%.

A. Hasil Pengujian Fisik Agregat

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Fisik Agregat

No	Pengujian	Metode	Batas	Hasil	ket
Agregat Kasar 10-20					
1	Berat Jenis Curah	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2.66	OK
2	Berat Jenis SSD	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2.69	OK
3	Berat Jenis Semu	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2.74	OK
4	Penyerapan Air	SNI 03-1970-1990	$\leq 3\%$	1.01%	OK
Agregat Kasar 10-10					
1	Berat Jenis Curah	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2.54	OK
2	Berat Jenis SSD	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2.57	OK
3	Berat Jenis Semu	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2.62	OK
4	Penyerapan Air	SNI 03-1970-1990	$\leq 3\%$	1.14%	OK
Agregat Medium 5-10					
1	Berat Jenis Curah	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2.64	OK
2	Berat Jenis SSD	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2.69	OK
3	Berat Jenis Semu	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2.76	OK
4	Penyerapan Air	SNI 03-1970-1990	$\leq 3\%$	1.66%	OK
Agregat Halus 0-5					
1	Berat Jenis Curah	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2.69	OK
2	Berat Jenis SSD	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2.77	OK
3	Berat Jenis Semu	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2.92	OK
4	Penyerapan Air	SNI 03-1970-1990	$\leq 3\%$	2.97%	OK

Dalam menghitung Parameter marshall, diperlukan Parameter parameter hitungan yaitu,

- a. Berat Jenis Bulk Agregat Gabungan (Gsb)
- b. Berat Jenis Efektif Agregat Gabungan (Gse)

Berikut merupakan cara perhitungan Parameter tersebut :

1. Membuat Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat

Tabel 4.10 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat

Fraksi	% Agregat	Berat Jenis			%Penyerapan	BJ Pakai	[2]/ [7]
		Bulk	SSD	Semu			
1	2	3	4	5	6	7	8
Ag. 10-20	10 %	2.66	2.69	2.74	1.014	2.702	3.70158
Ag. 10-10	20 %	2.54	2.57	2.62	1.137	2.581	7.74755
Ag. 5-10	20 %	2.64	2.69	2.76	1.663	2.704	7.39693
Ag. 0-5	50 %	2.52	2.58	2.69	2.548	2.606	19.1848
Total							38.0308

2. Menghitung Berat Jenis Bulk Agregat Gabungan (Gsb)

$$\begin{aligned}
 Gsb &= \frac{100}{\frac{\%Agg(10-20)}{BJ. Agg(10-20)} + \frac{\%Agg(10-10)}{BJ. Agg(10-10)} + \frac{\%Agg.n}{BJ. Agg.n}} \\
 &= \frac{100}{\frac{10\%}{2.66} + \frac{20\%}{2.54} + \frac{20\%}{2.64} + \frac{50\%}{2.52}} \\
 &= \mathbf{2.56}
 \end{aligned}$$

3. Menghitung Berat Jenis Efektif Agregat Gabungan (Gse)

$$\begin{aligned}
 Gse &= \frac{100}{\frac{\%Agg(10-20)}{BJ. Agg(10-20)} + \frac{\%Agg(10-10)}{BJ. Agg(10-10)} + \frac{\%Agg.n}{BJ. Agg.n}} \\
 &= \frac{100}{\frac{10\%}{2.70} + \frac{20\%}{2.58} + \frac{20\%}{2.70} + \frac{50\%}{2.61}} \\
 &= \mathbf{2.63}
 \end{aligned}$$

4.1.3 Hasil pengujian aspal

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

Tabel 4.11 Hasil Uji Karakteristik Aspal

No	Pengujian Aspal	Metode yang Digunakan	Syarat		Hasil	Ket.
			Min	Max.		
1	Penetrasi	SNI 06-2456-1991	60	79	68	OK
2	Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	48	58	54 °C	OK
3	Titik Nyala	SNI 06-2434-1991	200	-	235	OK
4	Daktalitas	SNI 06-2434-1991	100	-	170	OK
5	Kehilangan Berat	SNI 06-2440-1991	-	0.8	0.074	OK
6	Berat Jenis	SNI 06-2432-1991	1	-	1.033	OK

Sumber : Hasil Pengujian

4.2 Perencanaan Proporsi Agregat Gabungan

Perencanaan campuran menggunakan metode Bina Marga dimulai dari kadar aspal efektif yang tetap sesuai dengan yang telah ditetapkan dalam spesifikasi. Dimana spesifikasi yang dipakai dalam penelitian ini adalah Laston Lapis Antara. Berikut cara dan tahapan penggabungan gradasi dengan cara analitis :

$$P = a.A + b.B + c.C + d.D$$

Dimana:

P = Persen lolos saringan dengan ukuran (mm) yang diinginkan

A = Persen lolos saringan fraksi agregat kasar ukuran $d = \dots$ mm

B = Persen lolos saringan fraksi agregat medium ukuran $d = \dots$ mm

C = Persen lolos saringan fraksi agregat halus
ukuran $d = \dots$ mm

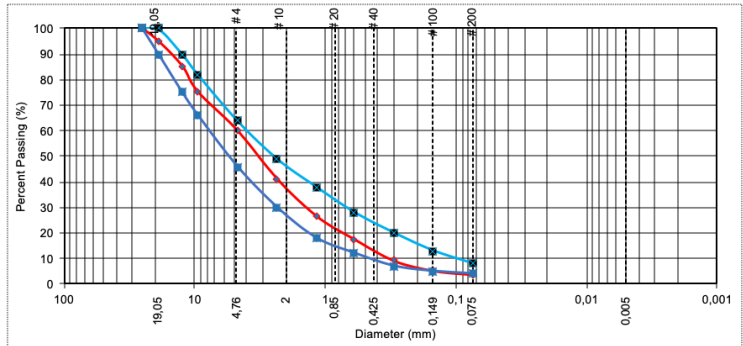
D = Persen lolos saringan fraksi agregat filler
ukuran $d = \dots$ mm

Untuk prosentase nilai a, b, c, d diperoleh dari perhitungan grafis sesuai dengan spesifikasi yang diatur pada peraturan Bina Marga 2010 mengenai batas agregat campuran AC-BC. Berikut tabel dan perhitungan mengenai prosentase penggabungan agregat:

Tabel 4.12 Prosentase Penggabungan Agregat

Saringan		Blending Agregat					Total	Spesifikasi AC-BC			Control Spek	Control Persen
No	mm	Ag.10/20 10 %	Ag.10/10 20 %	Ag.5/10 20 %	Ag.0/5 50 %	Filler %		BB	-	BA		
1"	25.4	10	20	20	50	0	100	100	-	100	OK	100 %
3/4"	19.1	4.97	20.00	20.00	50.00	0.00	95	90	-	100	OK	
1/2"	12.54	0.01	15.33	20.00	50.00	0.00	85	75	-	90	OK	
3/8"	9.5	0.01	5.22	20.00	50.00	0.00	75	66	-	82	OK	
4	4.75	0.00	0.02	10.47	49.71	0.00	60	46	-	64	OK	
8	2.36	0.00	0.00	0.02	41.38	0.00	41	30	-	49	OK	
16	1.18	0.00	0.00	0.00	26.77	0.00	27	18	-	38	OK	
30	0.600	0.00	0.00	0.00	17.60	0.00	18	12	-	28	OK	
50	0.300	0.00	0.00	0.00	9.31	0.00	9	7	-	20	OK	
100	0.150	0.00	0.00	0.00	5.35	0.00	5	5	-	13	OK	
200	0.075	0.00	0.00	0.00	3.82	0.00	4	4	-	8	OK	

Dari proporsi agregat campuran diatas, maka selanjutnya di plot kedalam grafik gabungan 4 fraksi agar dapat terlihat apakah proporsi tersebut sudah memenuhi spesifikasi AC BC atau tidak.



Grafik 4.1 Gabungan 4 Fraksi

Dari grafik gabungan 4 fraksi di atas, terlihat bahwa proporsi campurannya berada di antara batas atas dan batas bawah sehingga proporsi campuran diatas memenuhi spesifikasi. Dimana proporsi campuran agregat yang akan dipakai dalam penelitian ini adalah :

Tabel 4.13 Proporsi Campuran Agregat

Agregat	Prosentase Campuran
Agregat Kasar 10-20 mm	10%
Agregat Medium 10-10 mm	20%
Agregat Medium 5-10 mm	20%
Agregat Halus 0-5 mm	50%

4.3 Perencanaan Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji campuran dilakukan setelah semua material telah memenuhi spesifikasi baik spesifikasi fisik maupun spesifikasi Lataston Lapis Pondasi. Pada pembuatan benda uji ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yakni : jumlah benda uji, kadar aspal rencana, agregat yang digunakan, temperatur campuran, dan pemadatan benda uji.

4.3.1 Penentuan kadar aspal rencana

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

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

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 (0,5 – 1,0 untuk AC dan 2,0 – 3,0 untuk HRS)

a. Fraksi Desain Butiran Agregat

Penentuan fraksi butiran agregat ditentukan sebagai rencana akan kebutuhan agregat yang digunakan. Meliputi agregat kasar, agregat sedang, dan agregat halus. Berikut adalah tabel perhitungan fraksi desain butiran agregat. Perhitungan % Lolos didapatkan dari hasil tabel proporsi agregat campuran.

- Contoh Perhitungan % CA (Tertahan saringan No.8)

$$CA = 100\% - 41,4\% = 58,60\%$$
- Contoh Perhitungan % FA (Lolos saringan No.8, Tertahan saringan No.200)

$$\begin{aligned}
 \text{FA} &= 100 \% - \text{CA} - \% \text{ Lolos saringan} \\
 &\quad \text{No.200} \\
 &= 100 \% - 41,4 \% - 3,18 \% \\
 &= 37,58 \%
 \end{aligned}$$

- Contoh Perhitungan % FF (Lolos saringan No.200)

$$\begin{aligned}
 \text{FF} &= 100 \% - \text{CA} - \text{FA} \\
 &= 100 \% - 58,60 \% - 37,58\% \\
 &= 3,82 \%
 \end{aligned}$$

Sehingga, perkiraan kadar aspal rencana dapat dihitung sebagai berikut :

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

$$\begin{aligned}
 \text{Pb} &= 0,035(58,60) + 0,045(37,58) + \\
 &\quad 0,18(3,82) + 1 \\
 &= 5,43 \% \approx 5,50\%
 \end{aligned}$$

b. Fraksi Desain Butiran Campuran

Penentuan fraksi butiran campuran ditentukan sebagai rencana akan kebutuhan campuran agregat yang digunakan. Berikut penjelasan perhitungan mengenai fraksi desain butiran agregat. Nilai fraksi agregat didapat dari :

- Agregat Kasar (CA)

$$\text{CA} = 58,60 \% \times \frac{100 \% - 5,50 \%}{100 \%} = 55,38 \%$$

- Agregat Halus (FA)

$$\text{FA} = 37,58 \% \times \frac{100 \% - 5,50 \%}{100 \%} = 35,51 \%$$

- Filler (FF)

$$\text{FF} = 3,82 \% \times \frac{100 \% - 5,50 \%}{100 \%} = 3,61 \%$$

Maka nilai fraksi desain butiran campuran didapat sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Total} &= 55,38 \% + 35,51 \% + 3,61 \% + \\ &\quad 5,50 \% \\ &= 100 \% \end{aligned}$$

c. Perkiraan Awal Penyerapan Aspal

Untuk menentukan nilai awal penyerapan aspal, dilakukan perhitungan nilai penyerapan air untuk setiap jenis agregat

- Agregat Kasar (CA) 10-20 = $0,1 \times 1,01$
= 0,101
 - Agregat Kasar (CA) 10-10 = $0,2 \times 1,14$
= 0,230
 - Agregat Sedang (MA) 5-10 = $0,2 \times 1,66$
= 0,33
 - Agregat Halus (FA) 0-5 = $0,5 \times 2,97$
= 1,48
- Total = 2,14 \approx 2,20

Maka, nilai penyerapan aspal didapat sebesar :

- Penyerapan Aspal = *konstanta* x 2,20
= $0,45 \times 2,20$
= 0,99 %
- Kadar Aspal = $0,99 + 5,50$
= $6,49 \% \approx 6,50 \%$

Maka, perkiraan nilai kadar aspalnya adalah sebagai berikut :

Tabel 4.14 Perkiraan Nilai Kadar Aspal

PB-1	PB - 0,5	PB	PB + 0,5	PB + 1
5,50%	6,0 %	6,50%	7,0%	7,50%

Sumber: Hasil Perhitungan

4.3.2 Variasi nilai kadar aspal rencana

Untuk menentukan kadar aspal yang akan dijadikan sebagai rencana dasar, terlebih dahulu dilakukan perhitungan mengenai besaran proporsi untuk masing – masing material bahan uji sampel aspal. Seperti berat aspal dan jenis agregat dengan total berat 1200 gram untuk setiap sampel, berikut perhitungan.

Tabel 4.15 Variasi 1 Nilai Kadar Aspal Rencana

Variasi 1		
Kadar Aspal Rencana		5.50 %
Berat Sampel		1200 gram
Berat Kadar Aspal		66 gram
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	: 10 %	113 gram
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	: 20 %	227 gram
Berat Agg. Medium (5-10)mm	: 20 %	227 gram
Berat Agg. Halus (0-5)mm	: 50 %	567 gram
Total		1200 gram

Berikut penjelasan mengenai perhitungan variasi campuran:

$$\begin{aligned}
 \bullet \text{Berat Kadar Aspal} &= \frac{\%K.A. \text{ Rencana}}{100\%} \times \\
 &\quad \text{berat sample} \\
 &= \frac{5,5}{100} \times 1200 \text{ gram} \\
 &= 66 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \text{Berat Agr. Kasar (10-20)} &= 1200 - 66 = 1134 \\
 &\quad \text{gram} \\
 &= \frac{10}{100} \times 1134 \text{ gram} \\
 &= 113 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

- Berat Agr. Kasar (10-10) = $\frac{20}{100} \times 1134$ gram
= 227 gram
- Berat Agr Sedang (5-10) = $\frac{20}{100} \times 1134$ gram
= 227 gram
- Berat Agr. Halus (0-5) = $\frac{50}{100} \times 1134$ gram
= 567 gram

Tabel 4.16 Variasi 2 Nilai Kadar Aspal Rencana

Variasi 2		
Kadar Aspal Rencana		6.00 %
Berat Sampel		1200 gram
Berat Kadar Aspal		72 gram
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	: 10 %	113 gram
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	: 20 %	226 gram
Berat Agg. Medium (5-10)mm	: 20 %	226 gram
Berat Agg. Halus (0-5)mm	: 50 %	564 gram
Total		1200 gram

Tabel 4.17 Variasi 3 Nilai Kadar Aspal Rencana

Variasi 3		
Kadar Aspal Rencana		6.50 %
Berat Sampel		1200 gram
Berat Kadar Aspal		78 gram
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	: 10 %	112 gram
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	: 20 %	224 gram
Berat Agg. Medium (5-10)mm	: 20 %	224 gram
Berat Agg. Halus (0-5)mm	: 50 %	561 gram
Total		1200 gram

Tabel 4.18 Variasi 4 Nilai Kadar Aspal Rencana

Variasi 4	
Kadar Aspal Rencana	7.00 %
Berat Sampel	1200 gram

Variasi 4			
Berat Kadar Aspal			84 gram
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	10 %	112 gram
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	20 %	223 gram
Berat Agg. Medium (5-10)mm	:	20 %	223 gram
Berat Agg. Halus (0-5)mm	:	50 %	558 gram
Total			1200 gram

4.4 Pengujian Marshall

Untuk mengetahui nilai kadar aspal optimum, maka perlu dilakukan tes marshall berdasarkan parameter yang telah ditentukan pada masing-masing benda uji. Dari pengujian marshall dapat diketahui apakah nilai kadar aspal rencana (PB) merupakan kadar aspal optimum atau bukan. Pada penelitian ini sampel benda uji dibuat sebanyak 3 buah untuk masing – masing kadar aspal rencana

Menghitung Berat Jenis teori Maksimum

Berat Jenis Teori Maksimum (G_{mm}) diperlukan untuk mencari nilai parameter Marshall yaitu VIM, VMA, VFA. Tiap kadar aspal memiliki Berat Jenis teori Maksimum yang berbeda beda, berikut perhitungannya :

$$\text{Berat Jenis Teori Maksimum } (G_{mm}) : \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

Ket :

P_{mm} : Campuran Lepas Total (Nilai : 100%)

P_s : % Agregat (100 – P_b)

G_{se} : BJ. Aspal Efektif

G_b : BJ. Aspal

Contoh Perhitungan :

Berat Jenis Teori Maksimum dari Kadar Aspal 6,00%,
Gse = 2.63

$$\text{Berat Jenis Teori Maksimum (Gmm): } \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

$$\text{Berat Jenis Teori Maksimum (Gmm): } \frac{100}{\frac{(100 - 6.00)}{2.63} + \frac{6.00}{1.03}}$$

Berat Jenis Teori Maksimum (Gmm): 2.41 gr

Berikut merupakan tabel perhitungan Berat jenis teori Maksimum tiap kadar aspal :

Tabel 4.19 Perhitungan Berat Jenis Teori Maksimum

Kadar Aspal	BJ. Aspal	% Agregat (100-Pb)	Gse	[3] / [4]	[1] / [2]	[5] + [6]	BJ. Teori Max 100/[7]
1	2	3	4	5	6	7	8
5.50 %	1.03	94.50	2.63	35.93	5.34	41.27	2.42
6.00 %	1.03	94.00	2.63	35.74	5.83	41.57	2.41
6.50 %	1.03	93.50	2.63	35.55	6.31	41.86	2.39
7.00 %	1.03	93.00	2.63	35.36	6.80	42.16	2.37
7.50 %	1.03	92.50	2.63	35.17	7.28	42.45	2.36

Dari Tabel diatas di dapatkan nilai Berat Jenis teori Maksimum adalah :

- a. Kadar Aspal 5.50% : 2.42 gr/cc
- b. Kadar Aspal 6.00% : 2.41 gr/cc
- c. Kadar Aspal 6.50% : 2.39 gr/cc
- d. Kadar Aspal 7.00% : 2.37 gr/cc
- e. Kadar Aspal 7.50% : 2.36 gr/cc

4.4.1 Density

Sesuai perhitungan berat kering, berat jenuh, dan berat benda uji dalam air, maka didapat nilai *density* sebagai berikut.

Tabel 4.20 Nilai Density

Kadar Aspal Rencana = 5.5%					
No	Kode Aspal	Berat Kering	Berat dalam Air	Berat SSD	Berat jenis Campuran
		gr	gr	gr	
Kadar aspal		= 100%	Kadar Karet		= 0 %
1	HK1	1173.3	677.7	1210.3	2.20
2	HK2	1184.1	680.9	1205.1	2.26
3	HK3	1185.7	682.7	1205.8	2.27
Rata Rata		1181.033333	680.4333333	1207.066667	2.24

Kadar Aspal Rencana = 6.0%					
No	Kode Aspal	Berat Kering	Berat dalam Air	Berat SSD	Berat jenis Campuran
		gr	gr	gr	
Kadar aspal		= 100%	Kadar Karet		= 0 %
1	HK1	1179.7	683.6	1202.9	2.27
2	HK2	1180.2	681.7	1201.8	2.27
3	HK3	1180.5	684.1	1204.2	2.27
Rata Rata		1180.133333	683.1333333	1202.966667	2.27

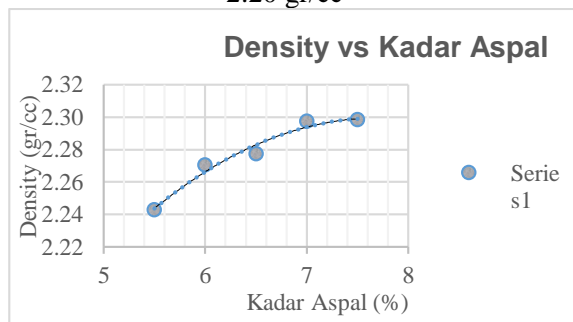
Kadar Aspal Rencana = 6.5%					
No	Kode Aspal	Berat Kering	Berat dalam Air	Berat SSD	Berat jenis Campuran
		gr	gr	gr	
Kadar aspal		= 100%	Kadar Karet		= 0 %
1	HK1	1189.6	672.6	1199.2	2.26
2	HK2	1187.9	674.8	1196.9	2.28
3	HK3	1188.7	675.9	1197.4	2.28
Rata Rata		1188.733333	674.4333333	1197.833333	2.28

Kadar Aspal Rencana = 7.0%					
No	Kode Aspal	Berat Kering	Berat dalam Air	Berat SSD	Berat jenis Campuran
		gr	gr	gr	
Kadar aspal		= 100%	Kadar Karet		= 0 %
1	HK1	1181.9	679.4	1193.7	2.30
2	HK2	1198.8	685.8	1204.8	2.31
3	HK3	1187.6	678.6	1198.6	2.28
Rata Rata		1189.433333	681.2666667	1199.033333	2.30

Kadar Aspal Rencana = 7,5%					
No	Kode Aspal	Berat Kering	Berat dalam Air	Berat SSD	Berat jenis Campuran
		gr	gr	gr	
Kadar aspal	=	100%		Kadar Karet	= 0 %
1	HK1	1187.7	678.3	1198.6	2.28
2	HK2	1185.8	678.5	1197.7	2.28
3	HK3	1188	683.6	1193.8	2.33
Rata Rata		1187.166667	680.1333333	1196.7	2.30

Kepadatan (*density*) adalah tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan. Untuk memperoleh nilai kepadatan, terlebih dahulu dilakukan penimbangan berat benda uji pada 3 kondisi yaitu keadaan kering, jenuh (SSD), dan berat dalam air. Untuk hasil perhitungan nilai *density* dapat dilihat pada **Tabel 4.20**. *Density* merupakan hasil bagi antara berat kering dengan berat isi benda uji. Berikut adalah contoh perhitungan *density* benda uji 1 dengan kadar aspal rencana 5,50 %.

$$\begin{aligned}
 \text{Density} &= \frac{\text{Berat Kering}}{\text{Berat SSD} - \text{Berat dalam air}} \\
 &= \frac{1173.3}{1210.3 - 677.7} \\
 &= 2.20 \text{ gr/cc}
 \end{aligned}$$



Grafik 4.2 Density vs Kadar Aspal

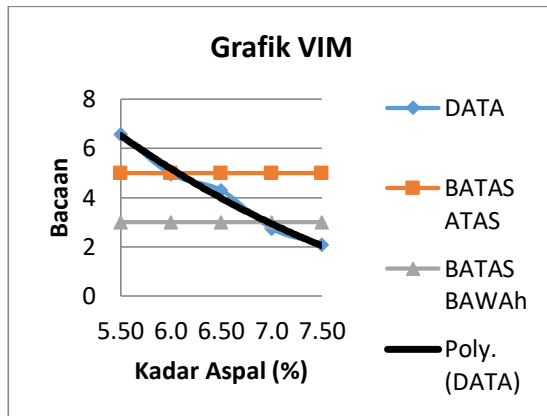
Dari **grafik 4.2** dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal, nilai *density* cenderung mengalami kenaikan. Pada grafik diatas titik kepadatan minimum sebesar 2.24 gr/cc pada kadar aspal 5,50 % dan titik kepadatan maksimum sebesar 2.30 gr/cc pada kadar aspal 7,00 % dan 7,50 %

4.4.2 *Void in Mix (VIM)*

Void in mix merupakan volume total udara yang berada diantara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan, dinyatakan dengan persen volume bulk suatu campuran. Adapun hasil analisa Rongga dalam Campuran (VIM) dapat dilihat pada **Tabel 4.21**.

Tabel 4.21 Hasil Analisa VIM

Pengujian	Spesifikasi	Sample	Kadar Aspal				
			5,50%	6,00%	6,50%	7,00%	7,50%
VIM	3 – 5	HK1	8.04	4.90	4.74	2.70	2.66
	3 – 5	HK2	6.00	4.99	4.15	2.27	2.62
	3 – 5	HK3	5.71	4.97	4.00	3.22	0.99
Rata-Rata			6.58	4.95	4.30	2.73	2.09



Grafik 4.3 VIM

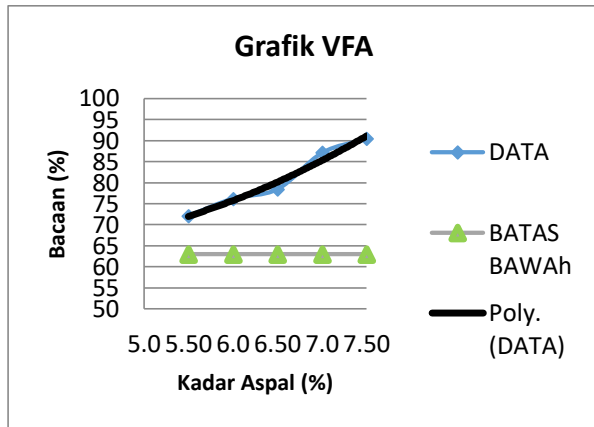
Dari **grafik 4.3** dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal, nilai *VIM* cenderung mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena seiring bertambahnya kadar aspal sehingga agregat yang terselimuti aspal memiliki sedikit rongga udara. Pada grafik diatas nilai maksimum sebesar 6.58% pada kadar aspal 5,50 % dan nilai maksimum sebesar 2.09% pada kadar aspal 7,50 %

4.4.3 *Void Filled Asphalt (VFA)*

Menurut Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah Tahun 2004, *VFA* adalah bagian dari rongga yang berada diantara mineral agregat (*VMA*) yang terisi oleh aspal efektif, dinyatakan dalam persen. Adapun hasil analisa *Void Filled Asphalt* dapat dilihat pada **Tabel 4.22**.

Tabel 4.22 Hasil Analisa VFA

Pengujian	Spesifikasi	Sample	Kadar Aspal				
			5,50%	6,00%	6,50%	7,00%	7,50%
VFA	63	HK1	65.47	76.58	79.44	87.17	88.00
	63	HK2	74.62	76.14	81.29	89.03	88.19
	63	HK3	76.18	75.84	74.66	85.19	95.17
Rata-Rata			72.10	76.19	78.46	87.13	90.45



Grafik 4.4 VFA

Dari **grafik 4.4** dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal, nilai *VFA* cenderung mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan oleh peningkatan kadar aspal yang menyebabkan rongga dalam campuran yang dapat diisi aspal juga semakin meningkat. Pada grafik diatas nilai minimum sebesar 72,10 % pada kadar aspal 5,50 % dan nilai maksimum sebesar 90,45 % pada kadar aspal 7,50 %.

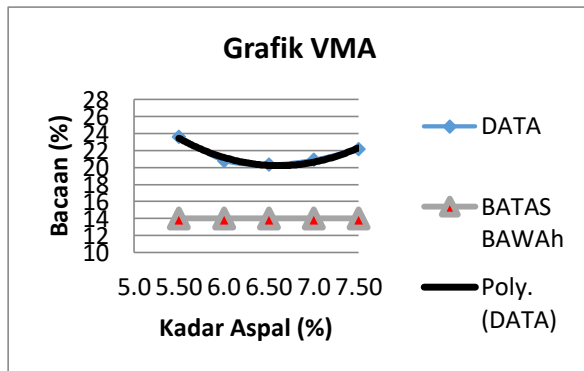
4.4.4 *Void in Mineral Agregate (VMA)*

VMA atau prosentase rongga di antara mineral agregat merupakan volume rongga yang

terdapat diantara partikel agregat suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, yaitu rongga udara dan volume kadar aspal efektif, yang dinyatakan dalam persen terhadap volume total benda uji. Adapun hasil analisa *Void in Mineral Agregate* dapat dilihat pada **Tabel 4.23**.

Tabel 4.23 Hasil Analisa VMA

Pengujian	Spesifikasi	Sample	Kadar Aspal				
			5,50%	6,00%	6,50%	7,00%	7,50%
VMA	14	HK1	23.28	20.92	23.06	21.07	22.18
	14	HK2	23.63	20.92	22.18	20.73	22.18
	14	HK3	23.98	20.57	15.78	21.76	20.47
Rata-Rata			23.63	20.80	20.34	20.9	22.18



Grafik 4.5 VMA

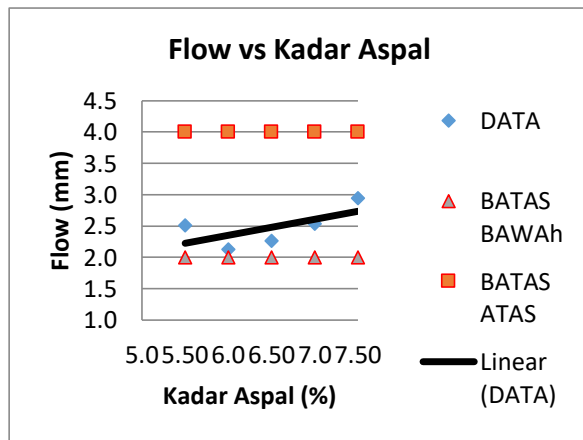
Dari **grafik 4.5** dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal, nilai *VMA* cenderung mengalami penurunan lalu kenaikan. Pada grafik diatas nilai maksimum sebesar 23,63 % pada kadar aspal 5,50 % dan nilai minimum sebesar 20,40% pada kadar aspal 6,50 %

4.4.5 Flow

Menurut Departemen Pekerjaan Umum, flow merupakan besarnya perubahan bentuk plastis suatu benda uji campuran beraspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas keruntuhan, dinyatakan dalam satuan panjang. Adapun hasil analisa flow dapat dilihat pada **Tabel 4.24**.

Tabel 4.24 Hasil Analisa Flow

Pengujian	Standard		Sample	Kadar Aspal				
				5.50 %	6.00 %	6.50 %	7.00 %	7.50 %
Flow	2	4	HK1	2.38	2.006	2.55	2.21	2.516
	2	4	HK2	3.026	2.312	2.516	2.448	3.026
	2	4	HK3	2.142	2.074	1.734	2.958	3.298
Rata - Rata				2.516	2.1307	2.2667	2.5387	2.9467



Grafik 4.6 *Flow* vs Kadar Aspal

Dari **grafik 4.6** dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal, nilai *flow* cenderung mengalami kenaikan. Pada grafik diatas nilai maksimum sebesar 2,54 % pada kadar

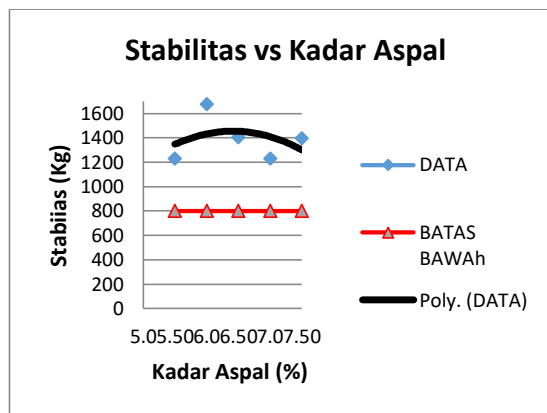
aspal 7,00 % dan nilai minimum sebesar 2,13 % pada kadar aspal 6,00 %

4.4.6 Stabilitas

Menurut Sukirman, stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban. Seiring dengan penambahan aspal, nilai stabilitas akan meningkat hingga batas maksimum. Penambahan aspal diatas batas maksimum justru akan menurunkan stabilitas campuran itu sendiri sehingga lapis perkerasan menjadi kaku dan bersifat getas. Adapun hasil analisa stabilitas dapat dilihat pada **Tabel 4.25**.

Tabel 4.25 Hasil Analisa Stabilitas

Pengujian	Spesifikasi	Sample	Kadar Aspal				
			5,50%	6,00%	6,50%	7,00%	7,50%
Stabilitas	800	HK1	1441.04	1683.83	1421.67	1433.19	1263.41
	800	HK2	1107.90	1996.88	1365.38	1138.19	1445.63
	800	HK3	1149.20	1357.53	1496.21	1122.18	1488.76
Rata-Rata			1232.72	1679.41	1427.75	1231.18	1399.26



Grafik 4.7 Stabilitas vs Kadar Aspal

Dari **grafik 4.7** dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal, nilai stabilitas cenderung mengalami kenaikan kemudian penurunan. Pada grafik diatas nilai maksimum sebesar 1679 pada kadar aspal 6,00 % dan nilai minimum sebesar 1231 pada kadar aspal 7,00 %. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa nilai rata-rata stabilitas yang memenuhi spesifikasi yakni semua nilai kadar aspal.

4.4.7 *Marshall Quotient (MQ)*

Menurut Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah Tahun 2004, mengatakan bahwa dengan penambahan kadar aspal dapat meningkatkan nilai MQ pada campuran. Penelitian sangat sesuai dengan acuan tersebut. Untuk hasil perhitungan nilai *Marshall Quotient* dapat dilihat pada **Tabel 4.26**.

Berikut adalah contoh perhitungan *Marshall Quotient* benda uji 1 dengan kadar aspal 5.50%. Sesuai perhitungan rencana dan hasil uji tes marshall, didapat nilai *marshall quotient* sebagai berikut

Kadar aspal 5.50% dengan kadar karet 0%

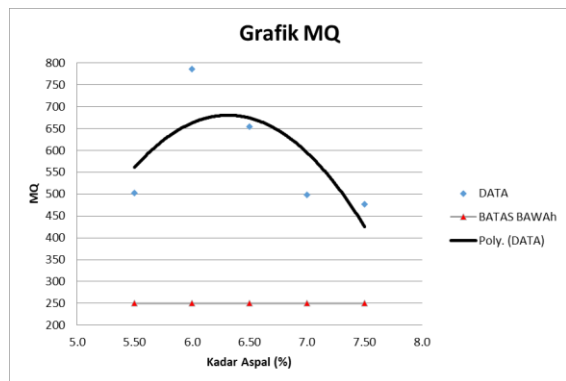
$$MQ = \frac{\textit{Stabilitas}}{\textit{Flow}}$$

$$MQ = \frac{1441.04}{2.38}$$

$$MQ = 605.48 \text{ Kg/mm}$$

Tabel 4.26 Hasil Analisa MQ

Pengujian	Spesifikasi	Sample	Kadar Aspal				
			5,50%	6,00%	6,50%	7,00%	7,50%
MQ	250	HK1	605.48	839.40	557.52	648.50	502.15
	250	HK2	366.13	863.70	542.68	464.95	477.74
	250	HK3	536.51	654.55	862.86	379.37	451.41
Rata - Rata			502.71	785.88	654.35	497.61	477.10



Grafik 4.8 MQ vs Kadar Aspal

Dari **grafik 4.8** dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal, nilai MQ cenderung mengalami penurunan. Pada grafik diatas nilai maksimum sebesar 785.88 pada kadar aspal 6,00 % dan nilai minimum sebesar 477.10 pada kadar aspal 7,50 %. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa nilai rata-rata MQ yang memenuhi spesifikasi yakni semua nilai kadar aspal.

4.5 Hasil Analisa Optimalisasi Kadar Aspal Konvensional

Setelah dilakukan Uji Marshall, didapatkan hasil dari seluruh parameter Marshall. Hasil tersebut kemudian dianalisa apakah telah memenuhi spesifikasi atau tidak. . Nilai kadar aspal optimum konvensional dapat dilihat pada **Tabel 4.27**.

Tabel 4.27 Hasil Rekapitulasi Analisa Parameter Marshall

Pengujian	Standard		Sample	Kadar Aspal				
				5.50 %	6.00 %	6.50 %	7.00 %	7.50 %
VIM	3	5	HK1	8.04	4.90	4.74	2.70	2.66
	3	5	HK2	6.00	4.99	4.15	2.27	2.62
	3	5	HK3	5.71	4.97	4.00	3.22	0.99
VMA	14		HK1	23.28	20.92	23.06	21.07	22.18
	14		HK2	23.63	20.92	22.18	20.73	22.18
	14		HK3	23.98	20.57	15.78	21.76	20.47
VFA	65		HK1	65.47	76.58	79.44	87.17	88.00
	65		HK2	74.62	76.14	81.29	89.03	88.19
	65		HK3	76.18	75.84	74.66	85.19	95.17
Stabilitas	800		HK1	1441.04	1683.83	1421.67	1433.19	1263.41
	800		HK2	1107.90	1996.88	1365.38	1138.19	1445.63
	800		HK3	1149.20	1357.53	1496.21	1122.18	1488.76
Flow	2	4	HK1	2.38	2.006	2.55	2.21	2.516
	2	4	HK2	3.026	2.312	2.516	2.448	3.026
	2	4	HK3	2.142	2.074	1.734	2.958	3.298
MQ	250		HK1	605.48	839.40	557.52	648.50	502.15
	250		HK2	366.13	863.70	542.68	464.95	477.74
	250		HK3	536.51	654.55	862.86	379.37	451.41

Sumber : Hasil Rekapitulasi Pengujian Marshall

Tabel 4.28 Kontrol Hasil Rekapitulasi Analisa Parameter Marshall

Pengujian	Standar		Kadar Plastik	Kadar Aspal				
				5.50 %	6.00 %	6.50 %	7.00 %	7.50 %
VIM (%)	3	5	HK1	NO	OK	OK	NO	NO
	3	5	HK2	NO	OK	OK	NO	NO
	3	5	HK3	NO	OK	OK	OK	NO
VMA(%)	14		HK1	OK	OK	OK	OK	OK
			HK2	OK	OK	OK	OK	OK
			HK3	OK	OK	OK	OK	OK
VFA(%)	63		HK1	OK	OK	OK	OK	OK
			HK2	OK	OK	OK	OK	OK
			HK3	OK	OK	OK	OK	OK
Stabilitas (Kg)	800		HK1	OK	OK	OK	OK	OK
			HK2	OK	OK	OK	OK	OK
			HK3	OK	OK	OK	OK	OK
Flow (mm)	2	4	HK1	OK	OK	OK	OK	OK
	2	4	HK2	OK	OK	OK	OK	OK
	2	4	HK3	OK	OK	NO	OK	OK
MQ (Kg/mm)	250		HK1	OK	OK	OK	OK	OK
			HK2	OK	OK	OK	OK	OK
			HK3	OK	OK	OK	OK	OK
Kadar Aspal Optimum					6.00%			

Sumber : Hasil Kontrol Rekapitulasi Pengujian Marshall

Tabel 4.29 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Pengujian	Standar		Kadar Plastik	Kadar Aspal				
				5.50 %	6.00 %	6.50 %	7.00 %	7.50 %
VIM (%)	3	5	HK1					
	3	5	HK2					
	3	5	HK3					
VMA(%)	14		HK1					
			HK2					
			HK3					
VFA(%)	63		HK1					
			HK2					
			HK3					
Stabilitas (Kg)	800		HK1					
			HK2					
			HK3					
Flow (mm)	2	4	HK1					
	2	4	HK2					
	2	4	HK3					
MQ (Kg/mm)	250		HK1					
			HK2					
			HK3					
Kadar Aspal Optimum				6.00%				

Sumber : Hasil Analisa Rekapitulasi Pengujian Marshall

Berdasarkan hasil analisa uji marshall pada tabel diatas, didapatkan nilai kadar aspal optimum sebesar **6,00%**.

4.6 Pengujian *Marshall* Aspal Modifikasi

Setelah didapatkan nilai kadar aspal optimum yaitu 6.00%, dibuat beberapa macam benda uji dengan 5 variasi kadar karet. Untuk pembuatan benda uji digunakan kadar karet 2%; 4%; 6%; 8%; dan 10%. Pada penelitian ini sampel benda uji dibuat sebanyak 3 buah untuk masing – masing variasi. Hasil pengujian sample tiap variasi, dapat dilihat pada parameter marshall di bawah ini.

4.6.1 *Density*

Sesuai perhitungan berat kering, berat jenuh, dan berat benda uji dalam air, maka didapat nilai *density* sebagai berikut :

Tabel 4.30 Nilai *Density*

Kadar Karet = 2%					
No	Kode Aspal	Berat Kering gr	Berat dalam Air gr	Berat SSD gr	Berat jenis Campuran
Kadar aspal = 98%		Kadar Karet = %			
1	HK1	1191.7	684.8	1206.3	2.29
2	HK2	1199.1	676.1	1208	2.25
3	HK3	1191.7	686.3	1205.5	2.30
Rata Rata		1195.4	680.45	1207.15	2.27

Kadar Karet = 4%					
No	Kode Aspal	Berat Kering gr	Berat dalam Air gr	Berat SSD gr	Berat jenis Campuran
Kadar aspal = 96%		Kadar Karet = %			
1	HK1	1186.6	673.2	1202.3	2.24
2	HK2	1189.1	679.1	1203.6	2.27
3	HK3	1191.4	681.7	1209.4	2.26
Rata Rata		1189.033333	678	1205.1	2.26

Kadar Karet = 6%					
No	Kode Aspal	Berat Kering	Berat dalam Air	Berat SSD	Berat jenis Campuran
		gr	gr	gr	
Kadar aspal =		94%		Kadar Karet = %	
1	HK1	1196	685.7	1213.2	2.27
2	HK2	1187.4	678.9	1213.9	2.22
3	HK3	1187.1	678.8	1206.3	2.25
Rata Rata		1190.166667	681.1333333	1211.133333	2.23

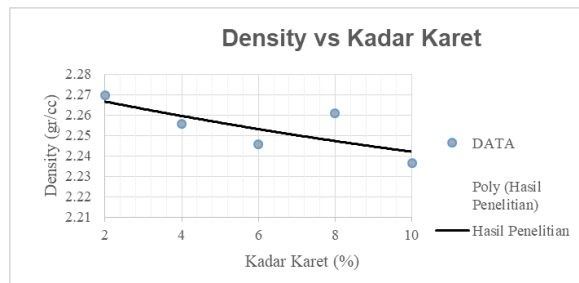
Kadar Karet = 8%					
No	Kode Aspal	Berat Kering	Berat dalam Air	Berat SSD	Berat jenis Campuran
		gr	gr	gr	
Kadar aspal =		92%		Kadar Karet = %	
1	HK1	1190.6	676.3	1207.8	2.24
2	HK2	1188.5	679.1	1204.7	2.26
3	HK3	1195	682.5	1206.4	2.28
Rata Rata		1191.366667	679.3	1206.3	2.26

Kadar Karet = 10%					
No	Kode Aspal	Berat Kering	Berat dalam Air	Berat SSD	Berat jenis Campuran
		gr	gr	gr	
Kadar aspal =		90%		Kadar Karet = %	
1	HK1	1194.5	684	1213.8	2.25
2	HK2	1184.1	680.2	1214.4	2.22
3	HK3	1185.4	681.3	1210.9	2.24
Rata Rata		1188	681.8333333	1213.033333	2.24

Kepadatan (*density*) adalah tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan. Untuk memperoleh nilai kepadatan, terlebih dahulu dilakukan penimbangan berat benda uji pada 3 kondisi yaitu keadaan kering, jenuh (SSD), dan berat dalam air. Untuk hasil perhitungan nilai *density* dapat dilihat pada **Tabel 4.30**. *Density* merupakan hasil bagi antara berat kering dengan berat isi benda uji. Berikut adalah

contoh perhitungan *density* benda uji 1 dengan kadar karet 2.00 %.

$$\begin{aligned} \text{Density} &= \frac{\text{Berat Kering}}{\text{Berat SSD} - \text{Berat dalam air}} \\ &= \frac{1191.7}{1206.3 - 684.8} \\ &= 2.29 \text{ gr/cc} \end{aligned}$$



Grafik 4.9 Density vs Kadar Aspal

Dari **grafik 4.9** dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal, nilai *density* cenderung mengalami penurunan. Pada grafik diatas titik kepadatan minimum sebesar 2.24 gr/cc pada kadar karet 10,00 % dan titik kepadatan maksimum sebesar 2.27 gr/cc pada kadar karet 2,00%.

Menurut Khairani [17], mengatakan bahwa dengan penambahan kadar karet ban pada campuran aspal dapat menurunkan nilai density pada campuran. Penelitian yang dilakukan oleh Khairani ini sangat sesuai dengan penelitian ini. Dimana dari hasil penelitian yang telah dilakukan grafik nilai density nya turun sesuai penambahan

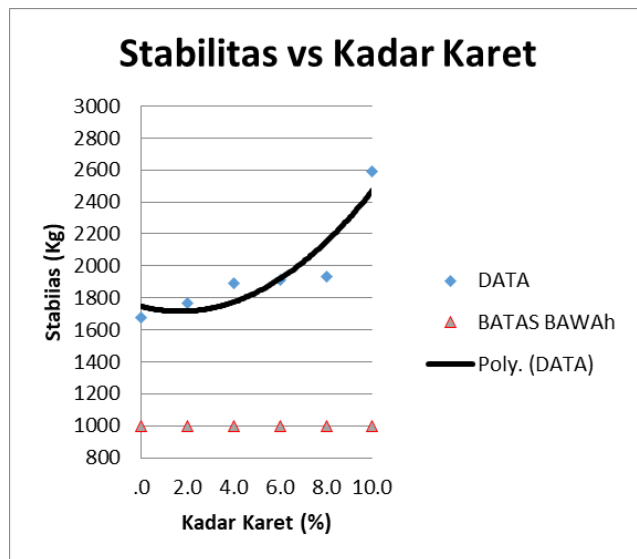
kadar karet ban sehingga mengurangi aspal dalam campuran.

4.6.2 Stabilitas

Sesuai perhitungan rencana dan hasil uji tes *marshall*, didapat nilai stabilitas pada **tabel 4.31** sebagai berikut:

Tabel 4.31 Stabilitas

Pengujian	Standard	Sample	Kadar Aspal				
			2.00 %	4.00 %	6.00 %	8.00 %	10.00 %
Stabilitas	1000	HK1	1810.60	1563.70	2139.80	1810.60	2633.60
	1000	HK2	1152.20	1975.20	1975.20	2057.50	2469.00
	1000	HK3	1728.30	1810.60	1678.92	1481.40	2551.30
Rata-Rata			1769.45	1783.17	1931.31	1783.17	2551.30



Grafik 4.10 Stabilitas vs Kadar Karet

Dari **grafik 4.10** dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal, nilai stabilitas cenderung mengalami kenaikan. Pada grafik diatas nilai maksimum sebesar 2592.45 pada kadar karet 10,00 % dan nilai minimum sebesar 1769.45 pada kadar karet 2,00 %.

Menurut Khairani [17], mengatakan bahwa dengan penambahan kadar karet ban pada campuran aspal dapat menaikkan nilai stabilitas pada campuran. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa nilai rata-rata stabilitas yang memenuhi spesifikasi yakni semua nilai kadar karet. Namun terjadi perbedaan dalam penelitian di jurnal tersebut seiring bertambahnya kadar karet yang signifikan, justru membuat nilai stabilitas menurun dan tidak memenuhi spesifikasi.

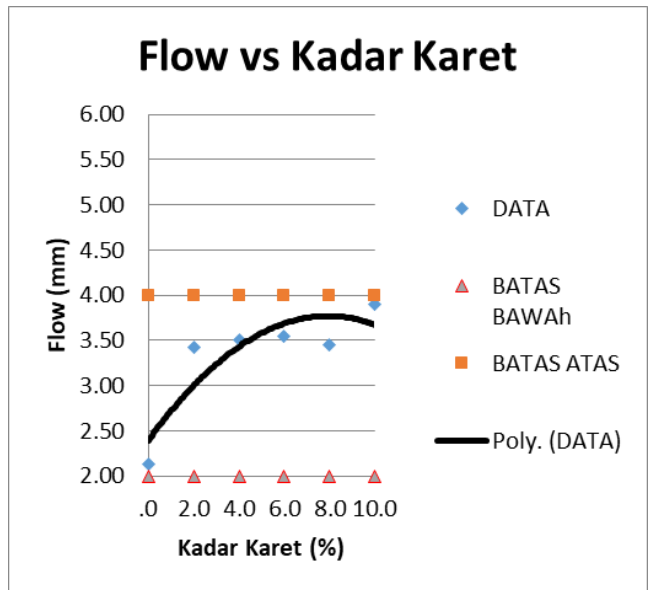
Hal ini disebabkan karena dengan ditambahkan karet ban kedalam campuran aspal membuat campuran aspal menjadi mengeras sehingga membuat stabilitasnya menjadi meningkat dengan signifikan. Sehingga dengan ditambahkan karet ban kedalam lapisan aspal, dapat meningkatkan kekuatan lapisan perkerasan yang nantinya akan berdampak terhadap berkurangnya fleksibilitas dari lapisan tersebut. Dampak negatif dari bertambahnya nilai stabilitas yang signifikan adalah dapat mengurangi fleksibilitas atau kelelahan lapisan aspal yang membuat lapisan aspal menjadi sangat kaku dan mudah retak. Oleh sebab itu penambahan karet ban kedalam campuran aspal tidak boleh terlalu banyak, karena dikhawatirkan dapat membuat lapisan aspal menjadi mudah retak.

4.6.3 Flow

Menurut Departemen Pekerjaan Umum, flow merupakan besarnya perubahan bentuk plastis suatu benda uji campuran beraspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas keruntuhan, dinyatakan dalam satuan panjang. Adapun hasil analisa flow dapat dilihat pada **Tabel 4.32**.

Tabel 4.32 Hasil analisis *flow*

Pengujian	Standard		Sample	Kadar Aspal				
				2.00 %	4.00 %	6.00 %	8.00 %	10.00 %
Flow	2	4	HK1	3.2	2.24	3.9	3.4	3.1
	2	4	HK2	4.75	2.27	3.8	3.5	4.3
	2	4	HK3	3.65	2.26	3.2	4.85	4.7
Rata-Rata				3.43	2.26	3.63	3.92	4.03



Grafik 4.11 Flow vs Kadar Karet

Dari **grafik 4.11** dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal, nilai *flow* cenderung mengalami kenaikan. Pada grafik diatas nilai maksimum sebesar 3.90 % pada kadar karet 10,00 % dan nilai minimum sebesar 3.43 % pada kadar karet 2,00 %.

Menurut Khairani [17], mengatakan bahwa dengan penambahan kadar karet ban pada campuran aspal dapat menaikkan nilai *flow* pada campuran. Penelitian yang dilakukan oleh Khairani ini sangat sesuai dengan penelitian ini. Dimana grafik nilai *flow* nya naik sesuai penambahan kadar karet ban. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa nilai rata-rata *flow* yang memenuhi spesifikasi yakni semua nilai kadar karet. Namun terjadi perbedaan dalam penelitian di jurnal tersebut seiring bertambahnya kadar karet yang signifikan, membuat nilai *flow* terlalu tinggi sehingga tidak memenuhi spesifikasi. Nilai *flow* yang semakin tinggi menyebabkan daya kelenturan semakin tinggi, sehingga menyebabkan aspal mudah memiliki deformasi atau perubahan bentuk akibat repetisi beban.

4.6.4 Void in Mix (VIM)

Void in mix merupakan volume total udara yang berada diantara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan, dinyatakan dengan persen volume bulk suatu campuran. Adapun hasil analisa Rongga dalam Campuran (VIM) dapat dilihat pada **Tabel 4.33**.

Tabel 4.33 Hasil Analisa VIM

Penguji an	Standard		Sample	Kadar Aspal				
				2.00 %	4.00 %	6.00 %	8.00 %	10.00 %
VIM	3	5	HK1	5.01	6.78	5.76	6.89	6.28
	3	5	HK2	6.29	5.76	7.75	6.01	7.86
	3	5	HK3	4.59	6.15	6.46	5.19	6.96
Rata-Rata				4.80	6.23	6.65	6.03	7.04

Adapun hasil analisa Rongga dalam campuran (VIM) dari campuran aspal karet sebagai berikut :

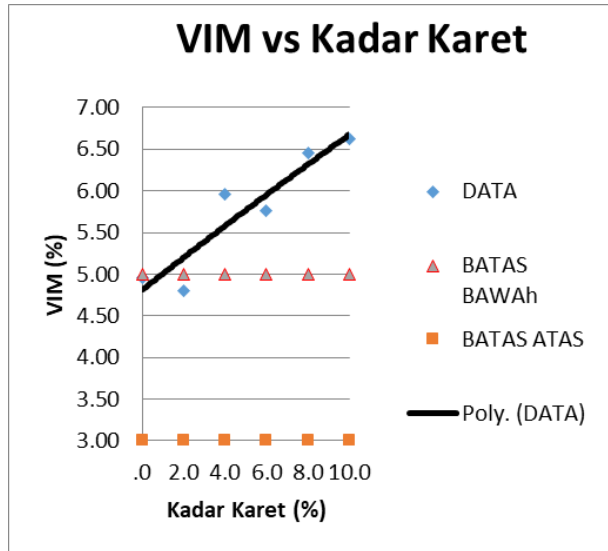
Contoh Perhitungan :

Kadar aspal 6.00% dengan kadar karet 2.00% :

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

$$\text{VIM} = 100 \times \frac{2.41 - 2.29}{2.41}$$

$$\text{VIM} = 5,01 \%$$



Grafik 4.12 VIM

Dari **grafik 4.12** dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal, nilai *VIM* cenderung mengalami kenaikan. Pada grafik diatas nilai maksimum sebesar 7,01% pada kadar karet 8,00 % dan nilai minimum sebesar 6,23% pada kadar aspal 4,00 %. Menurut Khairani [17], mengatakan bahwa dengan penambahan kadar karet ban pada campuran aspal dapat menaikkan nilai *VIM* pada campuran.

Penelitian yang dilakukan oleh Khairani ini sangat sesuai dengan penelitian ini. Dimana grafik nilai *VIM* nya naik sesuai penambahan kadar karet ban. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa nilai rata-rata *VIM* beberapa kadar karet tidak ada yang memenuhi spesifikasi. Namun terjadi perbedaan dalam penelitian di jurnal tersebut seiring

bertambahnya kadar karet yang signifikan, membuat nilai VIM terlalu tinggi sehingga tidak ada yang memenuhi spesifikasi. Hal ini disebabkan karena seiring berkurangnya kadar aspal yang terhalangi oleh kadar karet yang semakin banyak sehingga menghalangi aspal untuk mengisi rongga dalam campuran sehingga sample menjadi banyak rongga udara.

4.6.5 *Void in Mineral Agregate (VMA)*

VMA atau prosentase rongga di antara mineral agregat merupakan volume rongga yang terdapat diantara partikel agregat suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, yaitu rongga udara dan volume kadar aspal efektif, yang dinyatakan dalam persen terhadap volume total benda uji. Adapun hasil analisa *Void in Mineral Agregate* dapat dilihat pada **Tabel 4.34**.

Tabel 4.34 Hasil Analisis *Void in Mineral Agregate*

Penguji an	Standard	Sample	Kadar Aspal				
			2.00 %	4.00 %	6.00 %	8.00 %	10.00 %
VMA	14	HK1	15.87	17.43	16.53	17.53	16.99
	14	HK2	17.00	16.53	18.29	16.75	18.39
	14	HK3	15.50	16.88	17.15	16.02	17.59
Rata-Rata			15.68	16.95	17.32	16.77	17.66

Adapun hasil analisa Rongga Udara dalam agregat (VMA) dari campuran aspal plastik sebagai berikut :

Contoh Perhitungan :

Kadar aspal 6.00% dengan kadar karet 2.00% :

$$\text{VMA} = 100 - \frac{\text{Gmb}}{\text{Gsb}} \times \frac{100}{100 + \text{Pb}} \times 100$$

$$\text{VMA} = 100 - \frac{2.29}{2.56} \times \frac{100}{100 + 6.00} \times 100$$

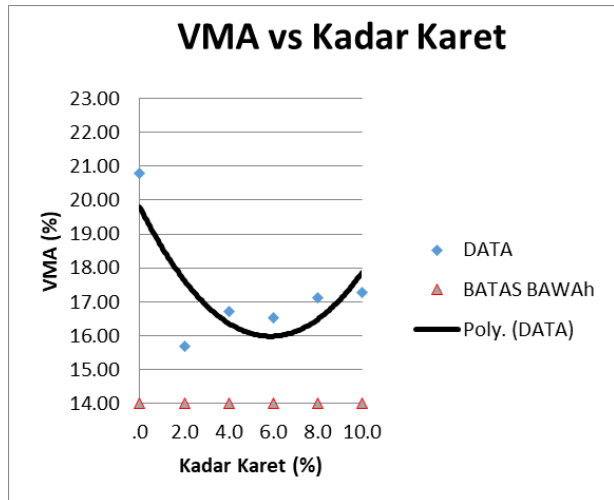
$$\text{VMA} = 15,87\%$$

Ket :

VMA : Void In Mineral Aggregate (%)

Gmb : Density (gr/cc)

Gsb : BJ. Bulk Agregat



Grafik 4.13 VMA vs Kadar Karet

Dari **grafik 4.13** dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal, nilai

VMA cenderung mengalami kenaikan. Pada grafik diatas nilai maksimum sebesar 17,29% pada kadar aspal 10,00% dan nilai minimum sebesar 15,68% pada kadar aspal 2,00%.

Menurut Khairani [17], mengatakan bahwa dengan penambahan kadar karet ban pada campuran aspal dapat menaikkan nilai VMA pada campuran. Penelitian yang dilakukan oleh Khairani ini sangat sesuai dengan penelitian ini. Dimana grafik nilai VMA nya naik sesuai penambahan kadar karet ban. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa nilai rata-rata VMA memenuhi spesifikasi dalam semua nilai kadar karet.

4.6.6 Void Filled Asphalt (VFA)

Menurut Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah Tahun 2004, VFA adalah bagian dari rongga yang berada diantara mineral agregat (VMA) yang terisi oleh aspal efektif, dinyatakan dalam persen. Adapun hasil analisa *Void Filled Asphalt* dapat dilihat pada **Tabel 4.35**

Tabel 4.35 Hasil Analisa Void Filled Asphalt

Penguji an	Standard	Sample	Kadar Aspal				
			2.00 %	4.00 %	6.00 %	8.00 %	10.00 %
VFA	65	HK1	68.40	61.11	65.17	60.70	63.02
	65	HK2	62.98	65.14	57.65	64.13	57.24
	65	HK3	70.36	63.54	62.34	67.62	60.43
Rata-Rata			69.38	63.26	61.72	64.15	60.23

Adapun hasil analisa rongga udara yang terisi aspal (VFA) dari campuran aspal plastik sebagai berikut:

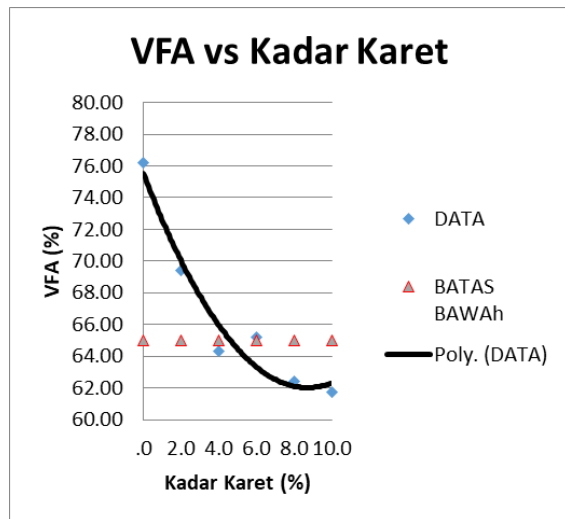
Contoh Perhitungan :

Kadar aspal 6.00% dengan kadar karet 2.00% :

$$\text{VFA} = 100 \times \frac{\text{VMA} - \text{VIM}}{\text{VMA}}$$

$$\text{VFA} = 100 \times \frac{15,85 - 5,01}{15,87}$$

$$\text{VFA} = 68,40\%$$



Grafik 4.14 VFA vs Kadar Karet

Dari **grafik 4.14** dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal, nilai *VFA* cenderung mengalami penurunan. Pada grafik diatas nilai minimum sebesar 61,73 % pada kadar karet 10,00 % dan nilai maksimum sebesar 69,38% pada kadar karet 2,00 %.

Menurut Khairani [17], mengatakan bahwa dengan penambahan kadar karet ban pada campuran aspal dapat menurunkan nilai VFA pada campuran. Penelitian yang dilakukan oleh Khairani ini sangat sesuai dengan penelitian ini. Dimana grafik nilai VFAnya turun sesuai penambahan kadar karet ban. Namun terjadi perbedaan dalam penelitian di jurnal tersebut seiring bertambahnya kadar karet yang signifikan, membuat nilai VIM terlalu tinggi sehingga nilai VFA terlalu rendah dan tidak ada yang memenuhi spesifikasi Hal ini dikarenakan kadar karet yang cenderung meningkat dikarenakan terisi oleh karet yang masih belum larut sempurna karena masih berbentuk butiran yang diselimuti aspal sehingga menyebabkan jumlah aspal yang seharusnya mengisi rongga dalam agregat menjadi sedikit. Karena kecilnya nilai VFA inilah, rongga dalam campuran (VIM) meningkat, yang kemudian akan menyebabkan saat lapisan ini diberi repetisi beban terus menerus, tidak akan menjadi mampat sempurna, sehingga masih akan ada rongga yang nantinya membuat lapisan aspal menjadi porus dan mudah teroksidasi dan mengalami keretakan.

4.6.7 *Marshall Quotient (MQ)*

Menurut Rahmawati, *Marshall Quotient* dihitung sebagai rasio dari stabilitas terhadap kelelahan yang digunakan sebagai indikator kekakuan campuran. Untuk hasil perhitungan nilai *Marshall Quotient* dapat dilihat pada **Tabel 4.36**.

Tabel 4.36 hasil perhitungan nilai Marshall Quotient

Penguji an	Standard	Sample	Kadar Aspal				
			2.00 %	4.00 %	6.00 %	8.00 %	10.00 %
MQ	250	HK1	565.81	355.39	548.67	532.53	849.55
	250	HK2	242.57	548.67	519.79	587.86	574.19
	250	HK3	473.51	532.53	524.66	305.44	542.83
Rata-Rata			519.66	478.86	531.04	475.28	655.52

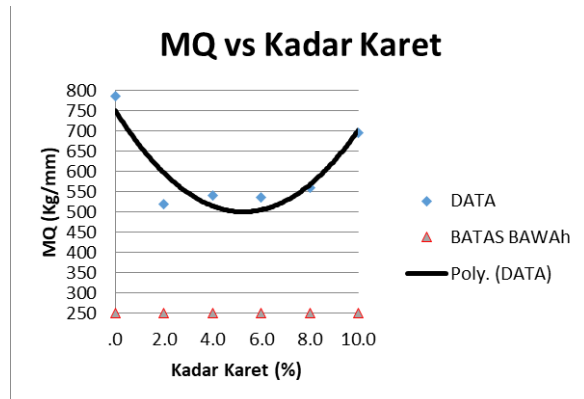
Berikut adalah contoh perhitungan *Marshall Quotient* benda uji 1 dengan kadar aspal 2.00%. Sesuai perhitungan rencana dan hasil uji tes marshall, didapat nilai *marshall quotient* sebagai berikut:

Kadar aspal 98% dengan kadar karet 2,00%

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

$$MQ = \frac{1810.60}{3,20}$$

$$MQ = 565,81 \text{ Kg/mm}$$



Grafik 4.15 MQ vs Kadar Aspal

Dari **grafik 4.8** dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal, nilai MQ cenderung mengalami kenaikan. Pada grafik diatas nilai maksimum sebesar 696,19 pada kadar aspal 10,00% dan nilai minimum sebesar 519,66 pada kadar aspal 2,00%.

Menurut Khairani [17], mengatakan bahwa dengan penambahan kadar karet ban pada campuran aspal dapat menaikkan nilai MQ pada campuran. Penelitian yang dilakukan oleh Khairani ini sangat sesuai dengan penelitian ini. Dimana grafik nilai MQ nya naik sesuai penambahan kadar karet ban. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa nilai rata-rata MQ yang memenuhi spesifikasi yakni semua nilai kadar karet. Namun terjadi perbedaan dalam penelitian di jurnal tersebut seiring bertambahnya kadar karet yang signifikan, membuat nilai stabilitas menurun sehingga nilai MQ cenderung menurun dan beberapa tidak memenuhi spesifikasi Hal ini dikarenakan nilai stabilitas yang cenderung meningkat mengakibatkan sifat kekakuan aspal semakin tinggi sehingga aspal menjadi kaku dan kurang lentur.

4.7 Hasil Analisa Optimalisasi Kadar Karet Modifikasi

Setelah dilakukan Uji Marshall, didapatkan hasil dari seluruh parameter Marshall. Hasil tersebut kemudian dianalisa apakah telah memenuhi spesifikasi atau tidak. . Nilai kadar karet optimum modifikasi dapat dilihat pada **Tabel 4.37**.

Tabel 4.37 Hasil Rekapitulasi Analisa Parameter Marshall

Penguji an	Standard		Sample	Kadar Aspal				
				2.00 %	4.00 %	6.00 %	8.00 %	10.00 %
VIM	3	5	HK1	4.40	6.78	5.76	6.89	6.28
	3	5	HK2	6.29	5.76	7.75	6.01	7.86
	3	5	HK3	4.59	6.15	6.46	5.19	6.96
VMA	14		HK1	15.32	17.43	16.53	17.53	16.99
	14		HK2	17.00	16.53	18.29	16.75	18.39
	14		HK3	15.50	16.88	17.15	16.02	17.59
VFA	65		HK1	71.30	61.11	65.17	60.70	63.02
	65		HK2	62.98	65.14	57.65	64.13	57.24
	65		HK3	70.36	63.54	62.34	67.62	60.43
Stabilitas	1000		HK1	1810.60	1563.70	2139.80	1810.60	2633.60
	1000		HK2	1152.20	1975.20	1975.20	2057.50	2469.00
	1000		HK3	1728.30	1810.60	1678.92	1481.40	2551.30
Flow	2	4	HK1	3.2	2.24	3.9	3.4	3.1
	2	4	HK2	4.75	2.27	3.8	3.5	4.3
	2	4	HK3	3.65	2.26	3.2	4.85	4.7
MQ	250		HK1	565.81	355.39	548.67	532.53	849.55
	250		HK2	242.57	548.67	519.79	587.86	574.19
	250		HK3	473.51	532.53	524.66	305.44	542.83
Kadar Aspal Optimum								

Sumber : Hasil Rekapitulasi Pengujian Marshall

Tabel 4.38 Kontrol Hasil Rekapitulasi Analisa Parameter Marshall

Pengujian	Standard		Sample	Kadar Aspal				
				2.00 %	4.00 %	6.00 %	8.00 %	10.00 %
VIM (%)	3	5	HK1	OK	NO	NO	NO	NO
	3	5	HK2	NO	NO	NO	NO	NO
	3	5	HK3	OK	NO	NO	NO	NO
VMA(%)	14		HK1	OK	OK	OK	OK	OK
			HK2	OK	OK	OK	OK	OK
			HK3	OK	OK	OK	OK	OK
VFA(%)	65		HK1	OK	NO	OK	NO	NO
			HK2	NO	OK	NO	NO	NO
			HK3	OK	NO	NO	OK	NO
Stabilitas (Kg)	1000		HK1	OK	OK	OK	OK	OK
			HK2	OK	OK	OK	OK	OK
			HK3	OK	OK	OK	OK	OK
Flow (mm)	2	4	HK1	OK	OK	OK	OK	OK
	2	4	HK2	NO	OK	OK	OK	NO
	2	4	HK3	OK	OK	OK	NO	NO
MQ (Kg/mm)	250		HK1	OK	OK	OK	OK	OK
			HK2	OK	NO	OK	OK	OK
			HK3	OK	OK	OK	OK	OK
Kadar Aspal Optimum					2.00%			

Sumber : Hasil Kontrol Rekapitulasi Pengujian Marshall

Tabel 4.39 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Pengujian	Standard		Sample	Kadar Aspal				
				2.00 %	4.00 %	6.00 %	8.00 %	10.00 %
VIM (%)	3	5	HK1	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
	3	5	HK2	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
	3	5	HK3	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
VMA(%)	14		HK1	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
			HK2	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
			HK3	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
VFA(%)	65		HK1	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
			HK2	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
			HK3	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
Stabilitas (Kg)	1000		HK1	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
			HK2	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
			HK3	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
Flow (mm)	2	4	HK1	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
	2	4	HK2	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
	2	4	HK3	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
MQ (Kg/mm)	250		HK1	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
			HK2	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
			HK3	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
Kadar Aspal Optimum					2.00%			

Sumber : Hasil Analisa Rekapitulasi Pengujian Marshall

Berdasarkan hasil analisa uji marshall pada tabel diatas, didapatkan nilai kadar karet optimum sebesar **2,00%**.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian yang mencakup pemeriksaan material, pembuatan benda uji hingga pengujian Marshall benda uji konvensional dan modifikasi yang ditambahkan limbah ban karet, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Campuran aspal pada Laston Lapis Antara (AC-BC) yang memenuhi parameter Marshall berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 adalah campuran aspal dengan kadar aspal optimum 6,00% dengan kadar karet **2,00%**. Namun jika terlepas dari acuan spesifikasi VIM, maka parameter stabilitas sebagai fungsi utama lapisan AC-BC didapat peningkatan nilai yang cukup signifikan di kadar karet **10,00%**.
2. Rancangan proporsi AC-BC konvensional dengan kadar aspal optimum **6.00%** dengan proporsi 72 gr aspal, 113 gr agregat ukuran 10-20, 226 gr agregat ukuran 10-10, 226 gr agregat ukuran 5-10, dan 564 gr agregat ukuran 0-5. Untuk penambahan limbah ban karet dengan kadar 2% yakni 70,6 gr aspal dan 1,4 gr limbah.
3. Berdasarkan hasil analisa parameter pengujian marshall campuran dengan kadar limbah ban karet memiliki nilai **density** minimum 2.24 gr/cc pada kadar karet 10%, dan nilai maksimum 2.27 gr/cc pada kadar karet 2%. Nilai **Stabilitas** minimum 1769,45 kg pada kadar karet 2%, dan nilai maksimum 2592,45 kg pada kadar karet 10%. Nilai **flow** minimum 3.43 mm pada kadar karet 2%, dan nilai maksimum 3,90 mm pada kadar karet 10%. Nilai **VIM** minimum 4,80 % pada kadar karet 2%, dan nilai maksimum 6,62 % pada kadar karet 10%. Nilai **VMA**

minimum 15,68 % pada kadar karet 2%, dan nilai maksimum 17,29 % pada kadar karet 10%. Nilai **VFA** minimum 61,73 % pada kadar karet 10%, dan nilai maksimum 69,38 % pada kadar karet 2%. Nilai **MQ** minimum sebesar 519,66 Kg/mm pada kadar karet 2%, dan nilai maksimum 696,19 kg/mm pada kadar karet 10%. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa, limbah ban yang dicampurkan kedalam campuran aspal pada Laston Lapis Antara (AC-BC) membuat parameter Marshall meningkat dan dengan penggunaan kadar karet yang semakin tinggi, maka penggunaan kadar aspal semakin rendah sehingga dapat memberi nilai yang lebih ekonomis.

4. Dari hasil penelitian menunjukkan penambahan persentase ban bekas dalam campuran beton aspal AC-BC menggunakan metode kering, mempengaruhi nilai parameter Marshall, sebagai kelebihanannya yaitu nilai stabilitas, *flow*, VMA, dan MQ menjadi meningkat. Sedangkan kekurangannya nilai VIM meningkat melebihi batas spesifikasi, serta nilai *Density* dan VFA mengalami penurunan. Peningkatan nilai stabilitas sebesar 54,34% dari stabilitas aspal konvensional membuat campuran dapat menerima beban lalu lintas lebih besar. Peningkatan *flow* sebesar 61% pada campuran modifikasi membuat aspal lebih lentur sehingga lebih tahan menerima lendutan akibat repetisi beban. Namun, di sisi lain nilai VIM menjadi lebih besar, sehingga menyebabkan campuran memiliki rongga yang lebih besar. Rongga yang lebih besar menyebabkan campuran menjadi porous sehingga air dan udara lebih mudah masuk dan terjadi penuaan aspal lebih cepat karena keretakan.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian tersebut peneliti dapat memberikan saran sebagai berikut :`

1. Pada penelitian ini terdapat keterbatasan-keterbatasan, kelengkapan laboratorium, serta kondisi kerja alat. Sehingga untuk kedepannya diharapkan penelitian ini perlu kajian lebih lanjut.
2. Pada hasil penelitian ini terdapat keterbatasan-keterbatasan, terutama mengenai hasil VIM dan VFA di beberapa kadar karet tidak memenuhi spesifikasi, namun untuk nilai stabilitas cukup meningkat secara signifikan. Sehingga jika digunakan untuk lapisan AC-BC (lapis antara) dapat dijadikan aspek pertimbangan lain karena fungsi utama lapis antara adalah menahan beban paling tinggi akibat beban lalu lintas dan meneruskan ke lapis bawahnya. Kemudian untuk hasil yang tidak masuk spesifikasi dapat dijadikan acuan modifikasi spesifikasi baru khususnya untuk limbah karet ban dalam.
3. Untuk percobaan selanjutnya perlu melakukan penelitian lanjutan disarankan menggunakan metode basah dikarenakan penggunaan metode kering dalam penelitian ini membuat bahan aditif limbah ban dalam pencampuran tidak dapat menyatu dengan sempurna oleh agregat sehingga menyebabkan beberapa parameter marshall seperti VIM dan VFA tidak memenuhi spesifikasi di beberapa kadar karet.
4. Penelitian lanjutan berupa peningkatan pada kadar karet di atas 10% karena pada penelitian ini kadar karet 10% memiliki nilai stabilitas paling tinggi dibanding dengan campuran konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

1. Lawalata, G.M. 2013. *Prinsip-prinsip pembangunan jalan berkelanjutan*. Yogyakarta: Jurnal Transportasi (2013) 13(2) 115-124.
2. Horas, Levina. 2018. *Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Bekas pada Campuran Asapl Emulsi Dingin untuk Perkerasan Jalan Raya*. Surabaya: Jurnal Univesitas Petra.
3. AASTHO. 1982. *Standart Specification For Transportation Materials and Method of Sampling and testing, Part II, Specification, 13th Edition*,. Washington,D.C, Amerika Serikat.
4. Kemenperin. 2015. *Kemenperin Dorong Peningkatan Konsumsi Karet Alam Nasional*. Jakarta: <https://kemenperin.go.id>. <https://kemenperin.go.id>.
5. Shaleh, Faisal. 2014. *Karakteristik Marshall Campuran Aspal Beton AC-BC Menggunakan Material Agregat Basalt Dengan Aspal Pen. 60/70 dan Tambahan Parutan Ban Dalam Bekas Kendaraan*. Surakarta: Jurnal Ilmiah.
6. Satyagraha, Fauzi. 2018. *Pengaruh Penambahan Limbah Ban dalam Bekas Kendaraan dan Filler Limbah Karbit pada LASTON (AC-BC) Terhadap Karakteristik Marshall*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
7. Sukirman. 1992. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Penerbit Nova.
8. Bina Marga, Direktorat Jendral. 2010. *Spesifikasi Umum 2010 (Revisi 3)*. Jakarta: PU.
9. Bina Marga. 2018. *Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*. Jakarta: PU.
10. Hicks, Mc Quillen and. 1987. *Construction of Rubber-Modified Asphalt Pavements*. Canada: ASCE.
11. Sugiyanto. 2008. *Model-model Pembelajaran Inovatif*. Surakarta: Yuma.

12. Blima. 2017. *Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Bekas Untuk Bahantambah Campuran ATB (Asphalt Treated Base)*. Malang: Jurnal Univesitas Negeri Malang.
13. Warith, M.A dan Rao S.M. 2006. *Predicting The Compressibility Behaviour of Tire Shred Samples for Landfill Applications*. Canada: Elsevier.
14. Laos, Charly. 2015. *Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet Pada Campuran Laston Untuk Perkerasan Jalan Raya*. Surabaya: Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil Petra.
15. Sukirman, Silvia. 2010. *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Granit.
16. Roberts, F.L. 1996. *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction*. Lanham: 2nd Edition, NAPA Education Foundation.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Heny Hanifah Permatasari. Lahir di Surabaya, 23 September 1998 sebagai anak bungsu dari dua bersaudara dari pasangan Karsono dan Titin Hendarwati. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Siti Aminah, SD Siti Aminah, SMPN 16 Surabaya dan SMAN 1 Surabaya. Setelah menyelesaikan pendidikan menengah atas, penulis melanjutkan pendidikan perguruan tinggi di Jurusan D-IV Teknik Sipil, Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi ITS pada tahun 2016.

Selama menempuh perkuliahan penulis tercatat aktif di acara departemen maupun institusi. Penulis pernah menjadi panitia yang diadakan departemen maupun institusi seperti menjadi panitia orientasi mahasiswa baru pada acara Gerigi ITS tahun 2018 dan anggota himpunan mahasiswa yang dilaksanakan di Departemen Infrastruktur Sipil tahun 2018. Serta mengikuti Studi Ekskursi pada tahun 2019 di Singapura melalui program ITS International.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Wijaya Karya Tbk, pada proyek jalan underpass New Yogyakarta International Airport (NYIA). Penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhirnya mengambil judul “Pengaruh Penambahan Limbah Ban Karet Kendaraan Bermotor untuk Campuran Laston Lapis Antara (AC-BC) Terhadap Karakteristik Hasil Uji Marshall”. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat kedepannya. Jika ada keperluan terkait tugas akhir ini, penulis dapat dihubungi melalui email hnhnfp@gmail.com/08984886025.

Ucapan Terima Kasih Penulis

Saya Heny Hanifah Permatasari, sangat bersyukur kepada Allah SWT karena limpahan rahmat dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir Terapan ini dengan penuh ilmu pengetahuan. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang berpengaruh positif terhadap penyelesaian Tugas Akhir Terapan ini.

1. Orang tua dan keluarga besar penulis yang mendukung perjuangan penulis dan selalu melantunkan doa-doa untuk perjuangan penulis.
2. Bapak Rachmad Basuki, MS. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, masukan, dan dukungan kepada penulis.
3. Tim penelitian aspal plastik beserta karyawan laboratorium jalan yang membantu dan membimbing selama penelitian.
4. Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Infrastruktur Sipil yang tidak dapat saya tulis satu-persatu, yang telah memberikan ilmu selama penulis belajar di bangku perkuliahan dan menyusun tugas akhir.
5. Nabilah, Risma, Farah, Adit, Wafi, Septian, dan teman-teman yang bersama-sama menjalani penelitian ini.
6. Teman-teman seperti Bagas, Tasya, Adinda dan Yani yang telah banyak memberikan bantuannya serta support penyemangat kepada penulis dalam melakukan praktikum dan membuat laporan ini.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Logbook Penelitian

Minggu ke-1 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
1	Senin, 16 Februari 2020	09.00 - Selesai	Mencuci Agregat
2	Selasa, 17 Februari 2020	09.00 - Selesai	Mencuci Agregat
3	Rabu, 18 Februari 2020	09.00 - Selesai	Mencuci Agregat
4	Kamis, 19 Februari 2020	09.00 - Selesai	Mencuci Agregat
5	Jumat, 20 Februari 2020	09.00 - Selesai	Mencuci Agregat
6	Sabtu, 21 Februari 2020	-	-
7	Minggu, 22 Februari 2020	-	-

Minggu ke-2 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
1	Senin, 23 Februari	09.00 - Selesai	Menggoreng Agregat, Mengayak Agregat
2	Selasa, 24 Februari	09.00 - Selesai	Menggoreng Agregat, Mengayak Agregat
3	Rabu, 25 Februari	09.00 - Selesai	Menggoreng Agregat, Mengayak Agregat
4	Kamis, 26 Februari	09.00 - Selesai	Menggoreng Agregat, Mengayak Agregat

Minggu ke-2 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
5	Jumat, 27 Februari	09.00 - Selesai	Menggoreng Agregat, Mengayak Agregat
6	Sabtu, 28 Februari	-	-
7	Minggu, 29 Februari	-	-

Minggu ke-3 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
1	Senin, 1 Maret	09.00 - Selesai	Pengujian Karakteristik Agregat Berat Jenis dan Penyerapan
2	Selasa, 2 Maret	09.00 - Selesai	Pengujian Karakteristik Agregat Berat Jenis dan Penyerapan
3	Rabu, 3 Maret	09.00 - Selesai	Pengujian Karakteristik Agregat Berat Jenis dan Penyerapan
4	Kamis, 4 Maret	09.00 - Selesai	Pengujian Karakteristik Agregat Berat Jenis dan Penyerapan
5	Jumat, 5 Maret	09.00 - Selesai	Pengujian Karakteristik Agregat Berat Jenis dan Penyerapan
6	Sabtu, 6 Maret	-	-
7	Minggu, 7 Maret	-	-

Minggu ke-4 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
1	Senin, 8 Maret	09.00 - Selesai	Pengujian Karakteristik Aspal Berat Jenis, Penetrasi, Daktilitas, Titik Lembek, Titik Nyala, Kehilangan Berat
2	Selasa, 9 Maret	09.00 - Selesai	Pengujian Karakteristik Aspal Berat Jenis, Penetrasi, Daktilitas, Titik Lembek, Titik Nyala, Kehilangan Berat
3	Rabu, 10 Maret	09.00 - Selesai	Pengujian Karakteristik Aspal Berat Jenis, Penetrasi, Daktilitas, Titik Lembek, Titik Nyala, Kehilangan Berat
4	Kamis, 11 Maret	09.00 - Selesai	Pengujian Karakteristik Aspal Berat Jenis, Penetrasi, Daktilitas, Titik Lembek, Titik Nyala, Kehilangan Berat
5	Jumat, 12 Maret	09.00 - Selesai	Pengujian Karakteristik Aspal Berat Jenis, Penetrasi, Daktilitas, Titik Lembek, Titik Nyala, Kehilangan Berat
6	Sabtu, 13 Maret	-	-
7	Minggu, 14 Maret	-	-

Minggu ke-5 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
1	Senin, 15 Maret	-	Sterilisasi pandemi covid 19
2	Selasa, 16 Maret	-	Sterilisasi pandemi covid 19
3	Rabu, 17 Maret	-	Sterilisasi pandemi covid 19
4	Kamis, 18 Maret	-	Sterilisasi pandemi covid 19

Minggu ke-5 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
5	Jumat, 19 Maret	-	Sterilisasi pandemi covid 19
6	Sabtu, 20 Maret	-	-
7	Minggu, 21 Maret	-	-

Minggu ke-6 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
1	Senin, 22 Maret	-	Sterilisasi pandemi covid 19
2	Selasa, 23 Maret	-	Sterilisasi pandemi covid 19
3	Rabu, 24 Maret	-	Sterilisasi pandemi covid 19
4	Kamis, 25 Maret	-	Sterilisasi pandemi covid 19
5	Jumat, 26 Maret	-	Sterilisasi pandemi covid 19
6	Sabtu, 27 Maret	-	-
7	Minggu, 28 Maret	-	-

Minggu ke-7 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
1	Senin, 29 Maret	-	Sterilisasi pandemi covid 19
2	Selasa, 30 Maret	-	Sterilisasi pandemi covid 19
3	Rabu, 31 Maret	-	Sterilisasi pandemi covid 19
4	Kamis, 1 April	-	Sterilisasi pandemi covid 19
5	Jumat, 2 April	-	Sterilisasi pandemi covid 19
6	Sabtu, 3 April	-	-
7	Minggu, 4 April	-	-

Minggu ke-8 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
1	Senin, 05 April	09.00 - Selesai	Blending Agregat

Minggu ke-8 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
2	Selasa, 06 April	09.00 - Selesai	Blending Agregat
3	Rabu, 07 April	09.00 - Selesai	Blending Agregat
4	Kamis, 08 April	09.00 - Selesai	Job Mixing Formula
5	Jumat, 09 April	09.00 - Selesai	Job Mixing Formula
6	Sabtu, 10 April	-	-
7	Minggu, 11 April	-	-

Minggu ke-8 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
1	Senin, 12 April	09.00 - Selesai	Penimbangan agregat konvensional
2	Selasa, 13 April	09.00 - Selesai	Penimbangan agregat konvensional
3	Rabu, 14 April	09.00 - Selesai	Penimbangan agregat konvensional
4	Kamis, 15 April	09.00 - Selesai	Pembuatan Benda Uji konvensional
5	Jumat, 16 April	09.00 - Selesai	Pembuatan Benda Uji konvensional
6	Sabtu, 17 April	-	-
7	Minggu, 18 April	-	-

Minggu ke-9 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
1	Senin, 19 April	09.00 - Selesai	Pembuatan Benda Uji konvensional
2	Selasa, 20 April	09.00 - Selesai	Pembuatan Benda Uji konvensional
3	Rabu, 21 April	09.00 - Selesai	Pembuatan Benda Uji konvensional
4	Kamis, 22 April	09.00 - Selesai	Pembuatan Benda Uji konvensional
5	Jumat, 23 April	09.00 - Selesai	Pembuatan Benda Uji konvensional
6	Sabtu, 24 April	-	-
7	Minggu, 25 April	-	-

Minggu ke-10 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
1	Senin, 26 April	09.00 - Selesai	Pengeluaran benda uji dari cetakan dan penimbangan berat kering benda uji
2	Selasa, 27 April	09.00 - Selesai	Perendaman benda uji selama ± 24 jam
3	Rabu, 28 April	09.00 - Selesai	Penimbangan berat dalam air dan SSD, waterbath, uji marshall
4	Kamis, 29 April	09.00 - Selesai	Pengeluaran benda uji dari cetakan dan penimbangan berat kering benda uji
5	Jumat, 30 April	09.00 - Selesai	Perendaman benda uji selama ± 24 jam
6	Sabtu, 01 Mei	-	-

Minggu ke-10 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
7	Minggu, 02 Mei	-	-

Minggu ke-11 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
1	Senin, 03 Mei	09.00 - Selesai	Penimbangan berat dalam air dan SSD, waterbath, uji marshall
2	Selasa, 04 Mei	09.00 - Selesai	Pengeluaran benda uji dari cetakan dan penimbangan berat kering benda uji
3	Rabu, 05 Mei	09.00 - Selesai	Perendaman benda uji selama ± 24 jam
4	Kamis, 06 Mei	09.00 - Selesai	Penimbangan berat dalam air dan SSD, waterbath, uji marshall
5	Jumat, 07 Mei	09.00 - Selesai	Pengeluaran benda uji dari cetakan dan penimbangan berat kering benda uji
6	Sabtu, 08 Mei	-	-
7	Minggu, 09 Mei	-	-

Minggu ke-12 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
1	Senin, 10 Mei	09.00 - Selesai	Penimbangan berat dalam air dan SSD, waterbath, uji marshall
2	Selasa, 11 Mei	09.00 - Selesai	Pengeluaran benda uji dari cetakan dan penimbangan berat kering benda uji

Minggu ke-12 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
3	Rabu, 12 Mei	09.00 - Selesai	Perendaman benda uji selama ± 24 jam
4	Kamis, 13 Mei	09.00 - Selesai	Penimbangan berat dalam air dan SSD, waterbath, uji marshall
5	Jumat, 14 Mei	09.00 - Selesai	Pengeluaran benda uji dari cetakan dan penimbangan berat kering benda uji
6	Sabtu, 15 Mei	-	-
7	Minggu, 16 Mei	-	-

Minggu ke-12 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
1	Senin, 17 Mei	09.00 - Selesai	Perendaman benda uji selama ± 24 jam
2	Selasa, 18 Mei	09.00 - Selesai	Penimbangan berat dalam air dan SSD, waterbath, uji marshall
3	Rabu, 19 Mei		Hari Raya Idul Fitri
4	Kamis, 20 Mei		Hari Raya Idul Fitri
5	Jumat, 21 Mei		Hari Raya Idul Fitri
6	Sabtu, 22 Mei	-	-
7	Minggu, 23 Mei	-	-

Minggu ke-13 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
1	Senin, 24 Mei	-	Hari Raya Idul Fitri

Minggu ke-13 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
2	Selasa, 25 Mei	-	Hari Raya Idul Fitri
3	Rabu, 26 Mei		Hari Raya Idul Fitri
4	Kamis, 27 Mei		Hari Raya Idul Fitri
5	Jumat, 28 Mei		Hari Raya Idul Fitri
6	Sabtu, 29 Mei	-	-
7	Minggu, 30 Mei	-	-

Minggu ke-14 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
1	Senin, 31 Mei	09.00 - Selesai	Mengolah Data Konvensional
2	Selasa, 01 Juni	09.00 - Selesai	Mengolah Data Konvensional
3	Rabu, 02 Juni	09.00 - Selesai	Mengolah Data Konvensional
4	Kamis, 03 Juni	09.00 - Selesai	Menentukan KAO
5	Jumat, 04 Juni	09.00 - Selesai	Menentukan KAO
6	Sabtu, 05 Juni	-	-
7	Minggu, 06 Juni	-	-

Minggu ke-15 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
1	Senin, 07 Juni	09.00 - Selesai	Job Mixing Formula KAO
2	Selasa, 08 Juni	09.00 - Selesai	Job Mixing Formula KAO
3	Rabu, 09 Juni	09.00 - Selesai	Mencuci Agregat

4	Kamis, 10 Juni	09.00 - Selesai	Mencuci Agregat
5	Jumat, 11 Juni	09.00 - Selesai	Mencuci Agregat
6	Sabtu, 12 Juni	-	-
7	Minggu, 13 Juni	-	-

Minggu ke-16 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
1	Senin, 14 Juni	09.00 - Selesai	Mengayak Agregat
2	Selasa, 15 Juni	09.00 - Selesai	Mengayak Agregat
3	Rabu, 16 Juni	09.00 - Selesai	Mengayak Agregat
4	Kamis, 17 Juni	09.00 - Selesai	Menimbang Agregat Modif
5	Jumat, 18 Juni	09.00 - Selesai	Menimbang Agregat Modif
6	Sabtu, 19 Juni	-	-
7	Minggu, 20 Juni	-	-

Minggu ke-17 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
1	Senin, 21 Juni	09.00 - Selesai	Menimbang Agregat Modif
2	Selasa, 22 Juni	09.00 - Selesai	Pembuatan Benda Uji Modifikasi
3	Rabu, 23 Juni	09.00 - Selesai	Pembuatan Benda Uji Modifikasi
4	Kamis, 24 Juni	09.00 - Selesai	Pembuatan Benda Uji Modifikasi

5	Jumat, 25 Juni	09.00 - Selesai	Pembuatan Benda Uji Modifikasi
6	Sabtu, 26 Juni	-	-
7	Minggu, 27 Juni	-	-

Minggu ke-18 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
1	Senin, 28 Juni	09.00 - Selesai	Pengeluaran benda uji dari cetakan dan penimbangan berat kering benda uji
2	Selasa, 29 Juni	09.00 - Selesai	Perendaman benda uji selama ± 24 jam
3	Rabu, 30 Juni	09.00 - Selesai	Penimbangan berat dalam air dan SSD, waterbath, uji marshall
4	Kamis, 01 Juli	09.00 - Selesai	Pengeluaran benda uji dari cetakan dan penimbangan berat kering benda uji
5	Jumat, 02 Juli	09.00 - Selesai	Perendaman benda uji selama ± 24 jam
6	Sabtu, 03 Juli	-	-
7	Minggu, 04 Juli	-	-

Minggu ke-19 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
1	Senin, 05 Juli	09.00 - Selesai	Penimbangan berat dalam air dan SSD, waterbath, uji marshall
2	Selasa, 06 Juli	09.00 - Selesai	Pengeluaran benda uji dari cetakan dan penimbangan berat kering benda uji
3	Rabu, 07 Juli	09.00 - Selesai	Perendaman benda uji selama ± 24 jam
4	Kamis, 08 Juli	09.00 - Selesai	Penimbangan berat dalam air dan SSD, waterbath, uji marshall
5	Jumat, 09 Juli	-	Pengolahan Data dan Pembuatan Laporan
6	Sabtu, 10 Juli	-	-
7	Minggu, 11 Juli	-	-

Minggu ke-20 (2020)			
No	Tanggal	Jam	Jenis Kegiatan
1	Senin, 12 Juli	-	Pengolahan Data dan Pembuatan Laporan
2	Selasa, 13 Juli	-	Pengolahan Data dan Pembuatan Laporan
3	Rabu, 14 Juli		Pengolahan Data dan Pembuatan Laporan
4	Kamis, 15 Juli		Pengolahan Data dan Pembuatan Laporan
5	Jumat, 16 Juli		Pengolahan Data dan Pembuatan Laporan
6	Sabtu, 17 Juli	-	-
7	Minggu, 18 Juli	-	-

Lampiran 2 Dokumentasi

Proses Pembuatan Benda Uji



1. Setting Timbangan Aspal



2. Timbang Aspal



3. Panaskan Agregat



4. Masukkan Karet pada Agregat



5. Cek suhu Agregat, pastikan suhu minimal 150C



6. Campurkan agregat pada aspal panas



7. Campurkan agregat pada aspal panas sampai aspal menyelimuti semua agregat



8. Masukkan Campuran Aspal pada Molding



9. Pasang Molding pada alat compactor



10. Tumbuk 75x untuk lapisan AC-BC

Proses Pengujian Marshall



1. Menimbang Berat Kering Benda Uji



2. Menimbang Berat dalam Air



4. Menimbang Berat SSD



3. Merendam di waterbath selama 30 menit



5. Melakukan Uji Marshall dengan Manual



6. Membersihkan Benda Uji yang telah di Marshall

Lampiran 3 Hasil Pengujian Agregat

1. Pengujian Aspal

1 Berat Jenis Aspal

No	Pengujian Berat Jenis Aspal	Perc. 1	Perc. 2
1	Berat Pikno	87.06	83.878
2	Berat Pikno+Air	228.145	226.422
3	Berat Pikno+Air+Aspal	229.886	226.819
4	Berat Pikno +Aspal	121.763	115.938
5	Berat isi pikno	141.085	142.544
6	Berat contoh	34.703	32.06
7	Berat Air	108.123	110.881
8	BJ. Aspal	1.052818397	1.012538294
9	Rata Rata	1.033	

2 Penetrasi

No	Perc.1	Perc.2
1	72	62
2	72	64
3	70	71
4	62	67
5	78	67
6	66	69
	70	66.666667
	68	

3 Kehilangan berat

No	Pengujian	Perc.1	Perc.2	Rata2
1	Berat cawan + aspal	92.265	98.791	95.528
2	setelah dioven	92.3	98.9	95.6
3	Berat Endapan	0.035	0.109	0.072
4	Kehilangan Berat	0.037919827	0.110212336	0.074

4 Titik Nyala

Perc1 : 245

Perc2 : 220

rata2 : 233

5 Titik Lembek Aspal

Berat Sample 1 = 25.8 gr

Berat Cawan + Air = 937.5 gr

Berat Sample 2 = 26.2 gr

Volume Air = 800 ml

Waktu (menit)	Suhu Air
1	30 °C
2	30 °C
3	31 °C
4	33 °C
5	34 °C
6	37 °C
7	40 °C
8	44 °C
9	47 °C
10	51 °C
11	54 °C

2. Pengujian Agregat (Abrasi)

Berikut Hasil dari Pengujian Keausan Agregat :

Pengujian	Perc.1	Perc.2	Rata2
Berat Lolos Ayakan no. 3/4 tertahan ayakan n	2500 g	2500 g	2500 g
Berat Lolos Ayakan no. 1/2 tertahan ayakan n	2500 g	2500 g	2500 g
Jumlah (a)	5000 g	5000 g	5000 g
Berat Hasil setelah di lakukan Abrasi & disaring dengan ayakan no. 12 (b)	3396 g	3600 g	3498 g

$$\begin{aligned}
 \text{Keausan Agregat} &: \left(\frac{a - b}{a} \right) \times 100 \% \\
 &: \left(\frac{5000 \text{ g} - 3498 \text{ g}}{5000 \text{ g}} \right) \times 100 \% \\
 &: \quad \mathbf{30.04 \%}
 \end{aligned}$$

3. JMF Per Saringan Modifikasi (KAO 6%)

Kadar Aspal Rencana =		6.00%		Berat Sampel =		1200 gr
Saringan		Persen (%)		Kadar		Kumulatif
				Karet	Aspal	
No	mm	Lolos	Tertahan	2%	98%	
1"	25.4	100.00	0.00	0		0
3/4"	19.1	91.55	8.45	95		95 gr
1/2"	12.54	81.46	10.08	114		209 gr
3/8"	9.5	71.47	10.00	113		322 gr
4	4.75	53.45	18.02	203		525 gr
8	2.36	40.67	12.79	144		669 gr
16	1.18	25.71	14.96	169		838 gr
30	0.600	18.40	7.31	82		920 gr
50	0.300	12.57	5.83	66		986 gr
100	0.150	7.63	4.94	56		1042 gr
200	0.075	5.43	2.21	25		1067 gr
Pan	0	0.00	5.43	61		1128 gr
Berat Agregat Total (gr)				1128.0		
Berat Aspal (gr)				70.6		
Berat Limbah Karet (gr)				1.4		
Berat Total Benda Uji				1200		
Kode Benda Uji				HN 1-HN 3 / 6.00% / 2%		

Kadar Aspal Rencana =		6.00%		Berat Sampel =		1200 gr
Saringan		Persen (%)		Kadar		Kumulatif
				Karet	Aspal	
No	mm	Lolos	Tertahan	4%	96%	
1"	25.4	100.00	0.00	0		0
3/4"	19.1	91.55	8.45	95		95 gr
1/2"	12.54	81.46	10.08	114		209 gr
3/8"	9.5	71.47	10.00	113		322 gr
4	4.75	53.45	18.02	203		525 gr
8	2.36	40.67	12.79	144		669 gr
16	1.18	25.71	14.96	169		838 gr
30	0.600	18.40	7.31	82		920 gr
50	0.300	12.57	5.83	66		986 gr
100	0.150	7.63	4.94	56		1042 gr
200	0.075	5.43	2.21	25		1067 gr
Pan	0	0.00	5.43	61		1128 gr
Berat Agregat Total (gr)				1128.0		
Berat Aspal (gr)				69.1		
Berat Limbah Karet (gr)				2.9		
Berat Total Benda Uji				1200		
Kode Benda Uji				HN 1-HN 3 / 6.00% / 4%		

Kadar Aspal Rencana =		6.00%		Berat Sampel =		1200 gr
Saringan		Persen (%)		Kadar		Kumulatif
				Karet	Aspal	
No	mm	Lolos	Tertahan	6%	94%	
1"	25.4	100.00	0.00	0		0
3/4"	19.1	91.55	8.45	95		95 gr
1/2"	12.54	81.46	10.08	114		209 gr
3/8"	9.5	71.47	10.00	113		322 gr
4	4.75	53.45	18.02	203		525 gr
8	2.36	40.67	12.79	144		669 gr
16	1.18	25.71	14.96	169		838 gr
30	0.600	18.40	7.31	82		920 gr
50	0.300	12.57	5.83	66		986 gr
100	0.150	7.63	4.94	56		1042 gr
200	0.075	5.43	2.21	25		1067 gr
Pan	0	0.00	5.43	61		1128 gr
Berat Agregat Total (gr)				1128.0		
Berat Aspal (gr)				67.7		
Berat Limbah Karet (gr)				4.3		
Berat Total Benda Uji				1200		
Kode Benda Uji				HN 1-HN 3 / 6.00% / 6%		

Kadar Aspal Rencana =		6.00%		Berat Sampel =		1200 gr
Saringan		Persen (%)		Kadar		Kumulatif
				Karet	Aspal	
No	mm	Lolos	Tertahan	8%	92%	
1"	25.4	100.00	0.00	0		0
3/4"	19.1	91.55	8.45	95		95 gr
1/2"	12.54	81.46	10.08	114		209 gr
3/8"	9.5	71.47	10.00	113		322 gr
4	4.75	53.45	18.02	203		525 gr
8	2.36	40.67	12.79	144		669 gr
16	1.18	25.71	14.96	169		838 gr
30	0.600	18.40	7.31	82		920 gr
50	0.300	12.57	5.83	66		986 gr
100	0.150	7.63	4.94	56		1042 gr
200	0.075	5.43	2.21	25		1067 gr
Pan	0	0.00	5.43	61		1128 gr
Berat Agregat Total (gr)				1128.0		
Berat Aspal (gr)				66.2		
Berat Limbah Karet (gr)				5.8		
Berat Total Benda Uji				1200		
Kode Benda Uji				HN 1-HN 3 / 6.00% / 8%		

Kadar Aspal Rencana =		6.00%		Berat Sampel =		1200 gr
Saringan		Persen (%)		Kadar		Kumulatif
				Karet	Aspal	
No	mm	Lolos	Tertahan	10%	90%	
1"	25.4	100.00	0.00	0		0
3/4"	19.1	91.55	8.45	95		95 gr
1/2"	12.54	81.46	10.08	114		209 gr
3/8"	9.5	71.47	10.00	113		322 gr
4	4.75	53.45	18.02	203		525 gr
8	2.36	40.67	12.79	144		669 gr
16	1.18	25.71	14.96	169		838 gr
30	0.600	18.40	7.31	82		920 gr
50	0.300	12.57	5.83	66		986 gr
100	0.150	7.63	4.94	56		1042 gr
200	0.075	5.43	2.21	25		1067 gr
Pan	0	0.00	5.43	61		1128 gr
Berat Agregat Total (gr)				1128.0		
Berat Aspal (gr)				64.8		
Berat Limbah Karet (gr)				7.2		
Berat Total Benda Uji				1200		
Kode Benda Uji				HN 1-HN 3 / 6.00% / 10%		