

**Kajian Parameter *Marshall* Dengan Menggunakan
Limbah Karet Ban-Dalam Kendaraan Sebagai Bahan
Tambah pada Campuran Lapis Aus Permukaan Aspal
Beton (AC-WC)**



HERRY TAKBIR AKHBAR

5415107539

**Skripsi ini Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan dalam
Mendapatkan Gelar Sarjana**

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK BANGUNAN

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2017

LEMBAR PENGESAHAN

Nama Dosen	Tanda Tangan	Tanggal
Winoto Hadi, MT (Dosen Pembimbing Materi)	 -----	18-8-17 -----
Dra. Daryati, MT (Dosen Pembimbing Metodologi)	 -----	28-8-'17. -----

PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

Nama Dosen	Tanda Tangan	Tanggal
R. Eka Murti Nugraha, M.Pd (Ketua Penguji)	 -----	30/8-2017. -----
Drs. Prihantono, M.Eng (Penguji I)	 -----	20/8-'17 -----
Sittati Musalamah, MT (Penguji II)	 -----	30/8 2017 -----

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapat gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri dengan arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia untuk menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena skripsi ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, 16 Agustus 2017
Yang membuat pernyataan



Herry Takbir Akhbar
5415107539

ABSTRAK

Herry Takbir Akhbar. **Kajian Parameter Marshall Dengan Menggunakan Limbah Karet Ban-Dalam Kendaraan Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Lapis Aus Permukaan Aspal Beton (AC-WC)**. Skripsi, Jakarta: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta, Maret 2017.

Penelitian ini menggunakan limbah karet ban-dalam sebagai bahan tambah pada campuran Lapis Aus (AC-WC). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan antara aspal beton yang menggunakan limbah karet ban-dalam sebagai bahan tambah dengan aspal beton konvensional tanpa menggunakan limbah karet sebagai bahan tambah pada nilai parameter *Marshall*.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang menguji parameter *Marshall* pada 5 (lima) variasi kadar penambahan limbah karet ban-dalam yaitu 1%, 2%, 3%, 4%, 5% dengan sampel benda uji masing-masing varian 5 (lima) buah.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kadar penambahan penambahan karet ban-dalam yang paling baik didapat pada kadar 1% dengan nilai stabilitas 804,556 kg, nilai kelelehan (*Flow*) 3,0 mm, nilai *Marshall Quotient* (MQ) 271,333 kg/mm, nilai *Void in Mineral Aggregates* (VMA) 19.131%, nilai *Void Filled with Asphalt* (VFA) 73,826%, dan nilai *Void In the Mix* (VIM) 4,463%. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat dinyatakan bahwa limbah karet ban-dalam dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah pada lapis aus permukaan aspal beton (AC-WC).

Kata kunci : Limbah karet ban-dalam, Aspal Beton, AC-WC, Parameter *Marshall*

ABSTRACT

Herry Takbir Akhbar. *Study Of Marshall Parameter By Use The Waste Of Vehicle Inner-Tube Rubber As An Additive In Asphalt Concrete Wearing Course Mixtures (AC-WC)*. Essay, Jakarta: Civil Engineering Department, Faculty Of Engineering, State University of Jakarta, Maret 2017.

This research was using the waste of inner-tube rubber as an additive on asphalt concrete wearing course mixture (AC-WC). The purpose is to know is there a difference between aspal beton that used the waste of inner tube rubber on marshall parameter value.

This reseach used experiment method that examine the marshall parameter in 5 extra content variations of the waste of inner-tube rubber, that is 1%, 2%, 3%, 4% and 5%, by 5 sample test items for each variant.

Result of this reseach show that the best extra levels of inner-tube rubber was be obtained in 1% level with stability value 804.556 kg, melted value (flow) 3,0 mm, Marshall Quotient (MQ) value 271.333 kg/mm, Voin in Mineral Aggregates (VMA) value 19.131%, Void Filled with Asphalt (VFA) value 73.826% and Void in the Mix (VIM) 4.463%. based on the result of this research, it can be concluded that the inner-tube rubber can be used as an additive on asphalt concrete wearing course mixture (AC-WC).

Key word: The Waste Of Inner-Tube Rubber, Asphalt Concrete, AC-WC, Marshall Parameter

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena izin dan kehendaknya penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul ” Kajian parameter *Marshall* dengan menggunakan limbah karet ban-dalam kendaraan sebagai bahan tambah pada campuran lapis aus permukaan aspal beton (*AC-WC*)”. Skripsi merupakan salah satu syarat kelulusan akademik di dalam jenjang Program S1 Pendidikan Teknik Sipil Universitas Negeri Jakarta. Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penulisan Skripsi ini antara lain berdasarkan penelitian eksperimen di Laboratorium dan data yang diperoleh dari hasil penelitian serta tanya jawab langsung dengan dosen pembimbing Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta dan teknisi di Laboratorium Jalan Balai Irigasi.

Dalam proses penyelesaian Skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Orang tua tercinta dan saudara kandung penulis, yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materil.
2. R. Eka Murti Nugraha, M.Pd. selaku Ketua Program Studi S1 Pendidikan Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil FT UNJ
3. Dr. Gina Bachtiar, MT. selaku Koordinator Penyelesaian Studi Prodi Jurusan Teknik Sipil FT UNJ
4. Winoto Hadi, MT. selaku Dosen Pembimbing Materi yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, sumbangan pikiran, saran dan referensi sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.

5. Dra. Daryati, MT. selaku Dosen Pembimbing Metodologi yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, sumbangan pikiran dan saran sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.
6. Bapak Bejo dan Bapak Wawan selaku penyelia dan teknisi di Laboratorium Jalan Balai Irigasi yang telah membantu dalam seluruh kegiatan di laboratorium sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.
7. Teman-teman S1 Pendidikan Teknik Bangunan angkatan 2010 khususnya kelas Non Reguler yang tidak dapat disebutkan satu per satu karena keterbatasan tempat penulisan.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu penulis memohon maaf apabila terdapat kesalahan. Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi tercapainya penelitian serupa pada masa yang akan datang. Akhir kata penulis berharap semoga penelitian ini dapat bermanfaat dan menambah ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil bagi yang membacanya.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Jakarta, 16 Agustus 2017

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Pembatasan Masalah	4
1.4 Perumusan Masalah.....	5
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II	7
2.1 Kerangka Teori.....	7
2.1.1 Perkerasan Jalan	7
2.1.2 Campuran Aspal Panas (<i>Hot Mix Ashpalt</i>)	9
2.1.3 Lapis Aspal Beton (Laston)	10
2.1.4 Aspal	12
2.1.5 Agregat.....	15
2.1.6 Bahan Limbah Karet Ban.....	22
2.1.7 Parameter <i>Marshall</i>	24
2.2 Penelitian Relevan	30
2.3 Kerangka Berpikir	32
2.4 Hipotesis.....	34
BAB III.....	35
3.1 Tujuan Penelitian.....	35
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	35
3.3 Metode Penelitian.....	35
3.4 Pengambilan Sampel	35
3.4.1 Populasi.....	35

3.4.2	Sampel.....	35
3.5	Rancangan Penelitian	36
3.6	Prosedur Penelitian.....	38
3.6.1	Tahap Persiapan	38
3.6.2	Pemeriksaan Bahan	40
3.6.3	Perencanaan Campuran	44
3.6.4	Kadar Aspal Rencana.....	46
3.6.5	Kebutuhan Bahan	47
3.6.6	Pembuatan Benda Uji.....	49
3.6.7	Tahap Pengujian.....	51
3.7	Teknik Pengambilan Data	54
3.8	Teknik Analisa Data	54
BAB IV	55
4.1	Deskripsi Hasil Uji Pendahuluan	55
4.1.1	Pengujian Aspal	55
4.1.2	Pengujian Agregat Kasar.....	58
4.1.3	Pengujian Agregat Halus	59
4.1.4	Pengujian <i>Filler</i>	59
4.2	Pembuatan Benda Uji.....	59
4.3	Pembahasan Hasil Pengujian.....	60
4.3.1	Stabilitas.....	60
4.3.2	Kelelehan (<i>flow</i>).....	61
4.3.3	Marshall Quotient (MQ)	62
4.3.4	Void in Mineral Aggregate (VMA)	63
4.3.5	Void Filled with Asphalt (VFA)	64
4.3.6	Void In the Mix (VIM)	65
4.4	Pembahasan Keseluruhan Hasil Penelitian	66
4.5	Keterbatasan Penelitian	68
BAB V	69
5.1	Kesimpulan.....	69
5.2	Saran	70
DAFTAR PUSATAKA	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ketentuan Sifat Campuran Aspal.....	12
Tabel 2.2 Persyaratan Aspal Keras	15
Tabel 2.3. Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal	18
Tabel 2.4. Persyaratan Berat Jenis	19
Tabel 2.5 Persyaratan Agregat Kasar	20
Tabel 2.6 Persyaratan Agregat Halus.....	21
Tabel 2.7 Gradasi Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)	22
Tabel 3.1. Proposi Bahan Campuran satu buah benda uji.....	47
Tabel 3.2. Proposi Bahan Campuran lima buah benda uji.....	48
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Pendahuluan Aspal	55
Tabel 4.2. Hasil Pengujian Pendahuluan Aspal + 1% Karet	56
Tabel 4.3. Hasil Pengujian Pendahuluan Aspal + 2% Karet.....	56
Tabel 4.4. Hasil Pengujian Pendahuluan Aspal + 3% Karet.....	57
Tabel 4.5. Hasil Pengujian Pendahuluan Aspal + 4% Karet.....	57
Tabel 4.6. Hasil Pengujian Pendahuluan Aspal + 5% Karet.....	58
Tabel 4.7. Hasil Pengujian Agregat Kasar	58
Tabel 4.8. Hasil Pengujian Agregat Halus	59
Tabel 4.9. Hasil Pengujian <i>Marshall</i>	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Lapisan Perkerasan Jalan	9
Gambar 2.2 Lapisan Laston	10
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.....	37
Gambar 4.1 Grafik Stabilitas.....	60
Gambar 4.2 Grafik Nilai Kelelehan (Flow)	62
Gambar 4.3 Grafik Nilai <i>Marshall Quotient</i> (MQ).....	63
Gambar 4.4 Grafik Nilai VMA	64
Gambar 4.5 Grafik Nilai VFB.....	65
Gambar 4.6 Grafik Nilai VIM.....	66
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Variasi Sampel Uji Dengan Nilai Stabilitas dan Kelelehan.....	67

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Permohonan Penelitian.....	73
Lampiran 2. Surat Balasan Penelitian	74
Lampiran 3. Lembar Konsultasi Skripsi	75
Lampiran 4. Penetrasi Bitumen.....	79
Lampiran 5. Titik Lembek Aspal	85
Lampiran 6. Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal	91
Lampiran 7. Daktilitas Aspal	97
Lampiran 8. Berat Jenis Aspal	103
Lampiran 9. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	109
Lampiran 10. Keausan Agregat Kasar	110
Lampiran 11. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.....	111
Lampiran 12. Kadar Lumpur Agregat Halus	112
Lampiran 13. Berat Jenis Semen.....	113
Lampiran 14. Analisa Saringan Agregat.....	114
Lampiran 15. Perencanaan Gradasi Menerus Cara Analitis	115
Lampiran 16. Perencanaan Gradasi Menerus Cara Analitis	116
Lampiran 17. Kandungan Limbah Karet Ban-Dalam Kendaraan.....	117
Lampiran 18. Hasil Uji Turnitin	118
Lampiran 19. Dokumentasi.....	120
Lampiran 20. Riwayat Hidup Penulis	130

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Secara umum transportasi merupakan salah satu hal yang penting dalam pembangunan. Hal tersebut dapat diketahui apabila bidang transportasi kurang mendapat perhatian bahkan tidak diperhatikan maka kegiatan berpergian dari satu tempat ketempat lain akan menyulitkan. Transportasi darat di Indonesia sangat diminati dilihat pada data badan pusat statistik, perkembangan jumlah kendaraan bermotor pada tahun 2015 meningkat 6,29% dari tahun 2014 (BPS, 2015). Tingginya akan kebutuhan transportasi darat menuntut pada prasarana transportasi darat, peningkatan pembangunan jalan baru serta pemeliharaan prasarana jalan yang sudah ada.

Indonesia mengenal dua jenis konstruksi lapisan perkerasan jalan yaitu perkerasan kaku yang dibuat dari beton semen dan perkerasan lentur yang dibuat dari campuran aspal dan agregat. Perkerasan lentur ada yang bersifat struktural seperti lapis penetrasi makadam (Lapen), lapis asbuton campuran dingin (Lasbutag), lapis aspal beton (Laston) dan non struktural seperti laburan aspal satu lapis (Burtu), laburan aspal dua lapis (Burda), lapis tipis aspal pasir (Latasir), laburan aspal (Buras), lapis tipis asbuton murni (Latasbum), dan lapis tipis aspal beton (Lataston) (DPU, 1983).

Aspal beton (AC) terdiri dari tiga macam campuran, Laston Lapis Pengikat (AC-BC), Laston Lapis Aus (AC-WC) dan Laston Lapis Pondasi (AC-Base) yang ukuran maksimum masing-masing agregatnya adalah 25.4 mm, 19 mm dan 37,5 mm. *Asphalt Concrete -Wearing Course* (AC-WC) merupakan lapisan perkerasan

yang terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapisan aus. AC-WC dapat menambah daya tahan perkerasan terhadap penurunan mutu sehingga secara keseluruhan menambah masa pelayanan dari konstruksi perkerasan (Bina Marga, 2007).

Wakil Menteri Pekerjaan Umum, Dr. Ir. A. Hermanto Dardak, M.Sc. pada pembukaan acara 9th Asian Bitumen 2013 menyatakan terdapat beberapa isu mengenai aspal yang terdapat di Indonesia, seperti permasalahan kualitas aspal, harga aspal yang tidak menentu, dan masalah kelangkaan aspal yang terjadi beberapa tahun yang lalu, sehingga menyebabkan terhambatnya penyelesaian beberapa proyek jalan (DPU, 2013). Berbagai cara dapat digunakan untuk menanggulangi beberapa permasalahan tersebut, salah satunya dengan meningkatkan kualitas aspal dengan cara penambahan zat tambah (*additive*). Bahan tambah (*additive*) yang sering digunakan pada campuran aspal seperti *aboccel*, *roadcel*, *cellulose fibrils*, *tafpack-super* merupakan bahan tambah yang harganya relatif mahal sehingga secara keseluruhan kurang ekonomis.

Tidak bisa dipungkiri peningkatan jalan akan semakin memancing pertumbuhan kendaraan bermotor. Seiring peningkatan jumlah kendaraan sebanyak 6,29% atau 7.184.925 buah kendaraan dari tahun 2014 sampai 2015 (BPS, 2015). Sebagai dampak dari pertumbuhan kendaraan bermotor, semakin banyak limbah ban yang dihasilkan dari moda transportasi jenis tersebut. Dengan umur pakai ban rata-rata 5 tahun, maka dapat diperkirakan ada jutaan ban bekas terbuang dan berpotensi mengganggu lingkungan. Ban-ban bekas ini tidak mudah terurai sama halnya seperti plastik, bila dibiarkan akan mencemari lingkungan.

Pemanfaatan limbah dari ban bekas tersebut untuk menjadi bahan aditif aspal menjadi solusi terbaik jika bisa di realisasikan. Dengan harga yang murah serta mudah didapat, membantu perkembangan moda transportasi darat serta mengurangi jumlah limbah yang berpotensi mencemari lingkungan. Berdasarkan hasil pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) di laboratorium *Fire Engineering* Universitas Negeri Jakarta, didapatkan hasil bahwa limbah karet ban dalam kendaraan dari PT. Kharisma Suma Jaya Sakti, Bekasi memiliki unsur Karbon (C) 79,53%, Kalsium (Ca) 0,55%, Aluminium (Al) 0,42%, Silika (Si) 2,04%, Magnesium (Mg) 1,85%, Sulfur (S) 0,23%, dan Oksigen (O) 15,40%.

Penelitian mengenai pemanfaatan limbah ban sebagai bahan tambah pada aspal laston telah dilakukan oleh (Darunifah, 2007) dengan variasi kadar limbah ban 1%, 2%, 3%, 4% dan 5% terhadap aspal. Penelitian tersebut menghasilkan campuran aspal yang lebih baik pada penambahan limbah ban sebagai bahan tambah dengan persentase 2%.

Berdasarkan penelitian yang sudah diteliti oleh (Darunifah, 2007), maka dalam penelitian ini saya akan mencoba menggunakan bahan tambah yaitu karet ban dalam bekas yang dicampur bersamaan dengan campuran aspal AC-WC dengan variasi bahan tambah sebesar 1%, 2%, 3%, 4% dan 5% terhadap berat aspal.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut timbul pertanyaan-pertanyaan sebagai berikut:

1. Apakah limbah karet ban-dalam kendaraan dapat digunakan sebagai bahan aditif dalam campuran lapis aus permukaan aspal beton (AC-WC)?
2. Berapa persen kadar aditif karet ban-dalam kendaraan yang optimal untuk campuran lapis aus permukaan aspal beton (AC-WC)?
3. Apakah aditif karet ban-dalam kendaraan dapat menghasilkan parameter *marshall* yang sesuai dengan standar perkerasaan jalan?
4. bagaimana pengaruh penambahan aditif ban-dalam kendaraan terhadap *test marshall* pada campuran lapis aus permukaan aspal beton (AC-WC)?
5. Apakah aditif karet ban-dalam kendaraan merupakan alternatif yang lebih ekonomis dibandingkan dengan aditif lain?

1.3 Pembatasan Masalah

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

1. Perencanaan campuran hanya digunakan untuk lapis aus permukaan aspal beton (*Asphalt Concrete Wearing Course*).
2. Jenis aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 80/90 produksi PT. Pertamina, Cilacap.
3. Agregat kasar yang digunakan adalah batu split, dengan berat jenis 2,54 gr/cc.
4. Agregat halus yang digunakan adalah pasir, dengan berat jenis 2,52 gr/cc.

5. Bahan aditif yang digunakan adalah limbah karet ban dengan persentase 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% terhadap berat aspal.
6. Pembuatan benda uji tanpa limbah karet ban sebagai *controlling*.
7. Metode pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengujian sifat-sifat *Marshall Test*, yang meliputi: stabilitas, kelelahan, VFA, VMA, VIM, dan *marshall quotient*.

1.4 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi masalah, dan pembatasan masalah, dapat disusun suatu perumusan masalah, yaitu: Apakah penggunaan limbah karet ban sebagai bahan tambah dalam campuran lapis aus permukaan aspal beton dapat meningkatkan nilai parameter *Marshall* pada konstruksi lapisan perkerasan jalan raya?

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui bahwa karet ban-dalam kendaraan dapat digunakann sebagai bahan aditif pada campuran lapis aus permukaan aspal beton (AC-WC).
2. Mendapatkan persentase optimum karet ban-dalam untuk campuran lapis aus permukaan aspal beton (AC-WC).
3. Mendapatkan parameter *marshall* yang sesuai dengan standar untuk perkerasan lapis aus permukaan aspal beton (AC-WC) dengan karet ban-dalam kendaraan sebagai bahan aditif.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian:

1. Memberikan gambaran dan informasi mengenai pemanfaatan karet ban-dalam kendaraan sebagai bahan aditif dalam campuran lapis aus permukaan aspal beton AC-WC.
2. Memberikan alternatif pemecahan masalah dalam pembangunan jalan raya, sehingga kualitas aspal yang lebih baik.
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu sumber informasi dalam menambah pengetahuan khususnya ilmu perencanaan jalan raya terhadap dunia pendidikan.

BAB II

KERANGKA TEORITIS, KERANGKA BERPIKIR DAN HIPOTESIS PENELITIAN

2.1 Kerangka Teori

2.1.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Agar perkerasan jalan yang sesuai dengan mutu yang diharapkan, maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan (Sukirman, 2003).

2.1.1.1 Jenis Konstruksi Perkerasan

Konstruksi perkerasan terdiri dari beberapa jenis sesuai dengan bahan ikat yang digunakan (Sukirman, 1999), antara lain:

1. Konstruksi Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)
Perkerasan lentur, yaitu lapis keras yang menggunakan aspal sebagai bahan ikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu-lintas ke tanah dasar.
2. Konstruksi Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)
Perkerasan kaku, yaitu lapis keras yang menggunakan semen pc sebagai bahan ikat. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu-lintas diterima oleh pelat beton.
3. Konstruksi Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*)
Perkerasan komposit, yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur, dapat berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku atau perkerasan kaku di atas perkerasan lentur.

2.1.1.2 Bagian-Bagian Lapis Perkerasan

Supaya perkerasan mempunyai daya dukung dan keawetan yang memadai, tetapi tetap ekonomis, maka perkerasan jalan raya dibuat berlapis-lapis. Lapis paling atas disebut sebagai lapis permukaan, merupakan lapisan yang paling baik

mutunya. Di bawahnya terdapat lapis pondasi, yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan (Suprpto, 2004).

1. Lapis Permukaan (LP)

Lapis permukaan itu sendiri masih bisa dibagi lagi menjadi dua lapisan lagi, yaitu:

a. Lapis Aus (*Wearing Course*)

Lapis aus (*wearing course*) merupakan bagian dari lapis permukaan yang terletak di atas lapis antara (*binder course*).

b. Lapis Antara (*Binder Course*)

Lapis antara (*binder course*) merupakan bagian dari lapis permukaan yang terletak di antara lapis pondasi atas (*base course*) dengan lapis aus (*wearing course*).

Bahan – bahan lapis permukaan terdiri dari batu pecah, kerikil, dan stabilisasi tanah dengan semen atau kapur.

Penggunaan bahan aspal diperlukan agar lapisan dapat bersifat kedap air dan memberikan bantuan tegangan tarik yang berarti mempertinggi daya dukung lapisan terhadap beban roda lalu lintas.

2. Lapis Pondasi Atas (LPA) atau *Base Course*

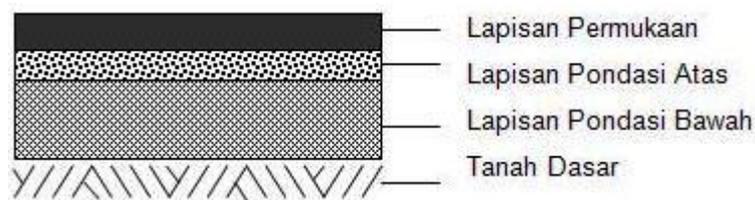
Lapis pondasi atas adalah bagian dari perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah atau dengan tanah apabila tidak menggunakan lapis pondasi bawah. Fungsi lapis ini adalah lapis pendukung bagi lapis permukaan, pemikul beban horizontal serta vertikal dan lapis perkerasan bagi pondasi bawah.

3. Lapis Pondasi Bawah (LPB) atau *Subbase Course*

Lapis Pondasi Bawah adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar. Lapis Pondasi Bawah adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar. Bahannya dari bermacam – macam bahan setempat seperti batu pecah, kerikil dan batu belah.

4. Tanah Dasar (TD) atau *Subgrade*

Tanah dasar (*subgrade*) adalah permukaan tanah semula, permukaan tanah galian atau permukaan tanah timbunan yang dipadatkan dan merupakan permukaan tanah dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya.



Gambar 2.1 Lapisan Perkerasan Jalan

2.1.2 Campuran Aspal Panas (*Hot Mix Asphalt*)

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 28PRT/M/2007 Campuran aspal panas (*hot mix asphalt*)/ aspal beton adalah campuran agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi (*filler*) dengan bahan pengikat aspal dalam dengan perbandingan-perbandingan tertentu dan dicampurkan dalam kondisi panas. Aspal beton merupakan salah satu jenis dari lapis perkerasan konstruksi perkerasan lentur. Aspal beton secara luas digunakan sebagai lapis permukaan konstruksi jalan lalu lintas berat, sedang, ringan dan lapangan terbang dengan kondisi segala macam cuaca. Kelebihan dari aspal beton ialah :

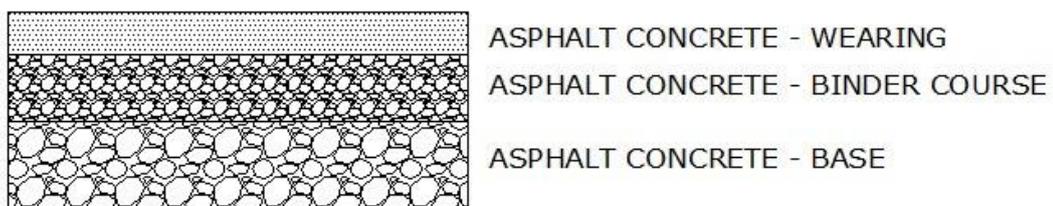
1. Waktu pekerjaan relatif sangat cepat sehingga terciptanya efisiensi waktu.
2. Lapisan konstruksi aspal beton tidak peka terhadap air (kedap air)
3. Dapat dilalui kendaraan setelah pelaksanaan penghamparan.
4. Memiliki sifat fleksibel sehingga mempunyai kenyamanan bagi pengendara.
5. Pemeliharaan yang relatif mudah dan murah.
6. Stabilitas yang tinggi sehingga dapat menahan beban lalu lintas tanpa terjadinya deformasi.

Jenis campuran beraspal panas memiliki beberapa tipe, penggunaannya tergantung dari kebutuhan jalan tersebut dan mudah atau tidak mendapatkan bahan agregat tersebut. Jenis campuran beraspal panas pada umumnya ada 3 (tiga) macam, sebagai berikut:

1. Lapis Aspal Beton (Laston)
Laston adalah lapis permukaan yang terdiri dari lapis aus (*Asphalt Concrete-Wearing Course*), lapis permukaan antara (*Asphalt Concrete- Binder Course*), dan Lapis pondasi (*Asphalt Concrete- Base*) yang terbuat dari agregat yang bergradasi menerus dan aspal yang dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada temperatur tertentu.
2. Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston)
Lataston adalah lapis permukaan yang terdiri atas lapis aus (*Hot Roller Sheet-Wearing Course*) dan lapis permukaan antara (*Hot Roller Sheet- Binder Course*) yang terbuat dari agregat yang bergradasi senjang dengan dominasi pasir dan aspal yang dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam kondisi panas pada temperatur tertentu.
3. Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir)
Latasir adalah lapis penutup permukaan jalan yang terdiri atas agregat halus atau pasir atau campuran keduanya dan aspal keras yang dicampur, dihampar, dan dipadatkan dalam keadaan panas pada temperatur tertentu.

2.1.3 Lapis Aspal Beton (Laston)

Aspal beton (*Asphalt Concrete*) dikenal juga dengan Laston (Lapisan Aspal Beton) yaitu lapis permukaan struktural atau lapis pondasi atas. Aspal beton terdiri atas 3 (tiga) macam lapisan, yaitu Laston Lapis Aus (*Asphalt Concrete- Wearing Course* atau AC-WC), Laston Lapis Permukaan Antara (*Asphalt Concrete-Binder Course* atau AC-BC) dan Laston Lapis Pondasi (*Asphalt Concrete- Base* atau AC-Base).



Gambar 2.2 Lapisan Laston

2.1.2.1 Asphalt Concrete–Wearing Course

Asphalt Concrete-Wearing Course merupakan lapisan perkerasan yang terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapisan aus. Walaupun bersifat non struktural, AC-WC dapat menambah daya tahan perkerasan terhadap penurunan

mutu sehingga secara keseluruhan menambah masa pelayanan dari konstruksi perkerasan.

2.1.2.2 Asphalt Concrete–Binder Course

Lapisan ini merupakan lapisan perkerasan yang terletak dibawah lapisan aus (*Wearing Course*) dan di atas lapisan pondasi (*Base Course*). Lapisan ini tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi harus mempunyai ketebalan dan kekauan yang cukup untuk mengurangi tegangan/regangan akibat beban lalu lintas yang akan diteruskan ke lapisan di bawahnya yaitu *Base* dan *Sub Grade* (Tanah Dasar). Karakteristik yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas.

2.1.2.3 Asphalt Concrete–Base

Lapisan ini merupakan perkerasan yang terletak di bawah lapis pengikat (AC-BC), perkerasan tersebut tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi perlu memiliki stabilitas untuk menahan beban lalu lintas yang disebarkan melalui roda kendaraan. Perbedaan terletak pada jenis gradasi agregat dan kadar aspal yang digunakan. Menurut Departemen Pekerjaan Umum 1983 Laston Atas atau lapisan pondasi atas (AC-Base) merupakan pondasi perkerasan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal dengan perbandingan tertentu dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas. Lapis Pondasi (AC-Base) mempunyai fungsi memberi dukungan lapis permukaan; mengurangi regangan dan tegangan; menyebarkan dan meneruskan beban konstruksi jalan di bawahnya (Sub Grade).

Ketentuan sifat-sifat campuran aspal panas berdasarkan pedoman pelaksanaan lapis campuran beraspal panas untuk tipe *Asphalt Concrete-Wearing Course* yaitu yang tertera pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Ketentuan Sifat Campuran Laston

Sifat-sifat Campuran	Laston			
		AC-WC	AC-BC	AC-Base
Jumlah tumbukan per bidang		75	75	112
Penyerapan Aspal %	Max	1,2	1,2	1,2
Rongga dalam campuran (VIM), %	Min	3,5	3,5	3,5
	Max	5,5	5,5	5,5
Rongga dalam agregat (VMA), %	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (VFB), %	Min	65	63	60
Stabilitas Marshall, kg	Min	800	800	1500
	Max	-	-	-
Pelelehan, mm	Min	3	3	5
Marshall quotient, kg/mm	Min	250	250	300

Sumber : Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 28PRT/M/2007

2.1.4 Aspal

Menurut Sukirman (2003), aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat, dan bersifat termoplastis, aspal akan mecair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu dan kembali membeku jika temperaur turun, bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan.

Aspal merupakan bahan bitumen yang telah digunakan sejak dulu, hingga sekarang aspal dipakai untuk jenis-jenis pekerjaan perkerasan, atap, pipa dan lain-lain. Aspal memiliki sifat melekat atau mengikat (*adhesive*), berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat. Jika dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak atau cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton.

Aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat hingga agak padat, dan bersifat termoplastis. Jadi, aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, dan kembali membeku pada suhu tertentu. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4 – 10% berdasarkan berat campuran, atau 10 – 15% berdasarkan volume campuran. (Sukirman, 2003)

2.1.3.1 Jenis-Jenis Aspal

1. Aspal minyak

Menurut Suprpto (2004) Aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu destilasi minyak bumi. Setiap minyak bumi dapat menghasilkan residu jenis *asphaltic base crude oil* yang banyak mengandung aspal, *parafin base crude oil* yang mengandung banyak parafin, atau *mixed base crude oil* yang mengandung campuran antara parafin dan aspal. Untuk perkerasan jalan umumnya digunakan aspal minyak jenis *asphaltic base crude oil*.

2. Aspal alam

Aspal alam ada yang diperoleh di gunung-gunung seperti aspal di pulau Buton, dan ada pula yang diperoleh di danau seperti di Trinidad. Indonesia memiliki aspal alam yaitu di pulau Buton, yang berupa aspal gunung, terkenal dengan nama Asbuton (Aspal batu Buton). Asbuton merupakan batu yang mengandung aspal. Deposit Asbuton membentang dari kecamatan Lawele sampai Sampolawa. Penggunaan Asbuton sebagai salah satu material perkerasan jalan telah dimulai sejak tahun 1920, walaupun masih bersifat konvensional. Asbuton merupakan campuran antara bitumen dengan bahan mineral lainnya dalam bentuk batuan. Karena Asbuton merupakan material yang begitu saja di alam di alam, maka kadar bitumen yang dikandungnya sangat bervariasi dari rendah sampai tinggi. Untuk mengatasi hal ini, maka Asbuton mulai diproduksi dalam berbagai bentuk di pabrik pengolahan Asbuton. (Suprpto, 2004)

2.1.3.2 Sifat Kimia Aspal

Menurut Sukirman (1999), aspal keras dihasilkan melalui proses destilasi minyak bumi. Minyak bumi yang digunakan terbentuk secara alami dari senyawa – senyawa organik yang telah berumur ribuan tahun dibawah tekanan dan variasi temperatur yang tinggi. Susunan struktur internal aspal dapat ditentukan oleh susunan kimia molekul – molekul yang terdapat dalam aspal tersebut. Susunan molekul aspal sangat kompleks dan dominasi (90 – 95% dari berat aspal) boleh unsur karbon dan hidrogen. Oleh sebab itu, senyawa aspal seringkali disebut sebagai senyawa hidrokarbon. Sebagian kecil sisanya (5 – 10%), dari dua jenis atom, yaitu: heteroatom dan logam. Unsur – unsur heteroatom seperti nitrogen, oksigen, dan sulfur.

2.1.3.3 Sifat Fisik Aspal

Sifat – sifat fisik aspal antara lain (Sukirman, 1999):

1. Durabilitas

Aspal beton dimaksudkan agar perkerasan mempunyai daya tahan terhadap cuaca dan beban lalu lintas yang bekerja. Faktor – faktor yang mendukung durabilitas meliputi kadar aspal yang tinggi, gradasi yang rapat, dan tingkat kepadatan yang sempurna.

2. Adhesi dan Kohesi

Adhesi adalah kemampuan aspal untuk mengikat agregat sehingga dihasilkan ikatan yang baik antara agregat dan aspal. Kohesi adalah ikatan di dalam molekul aspal untuk tetap mempertahankan agregat tetap di tempatnya setelah terjadi pengikatan. Sifat adhesi dan kohesi aspal sangat penting diketahui dalam pembuatan campuran beraspal karena sifat ini mempengaruhi kinerja dan durabilitas campuran.

3. Kepekaan terhadap temperatur

Aspal adalah material yang bersifat termoplastis, berarti akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan melunak atau mencair jika temperatur bertambah. Sifat ini diperlukan agar aspal memiliki ketahanan terhadap perubahan temperatur, misalnya aspal tidak banyak berubah akibat perubahan cuaca. Sehingga kondisi permukaan jalan dapat memenuhi kebutuhan lalu lintas.

4. Pengerasan dan penuaan aspal

Penuaan aspal adalah adalah suatu parameter yang baik untuk mengetahui durabilitas campuran beraspal. Penuaan ini disebabkan oleh faktor utama, yaitu penguapan fraksi minyak yang terkandung dalam aspal dan oksidasi penuaan jangka pendek dan oksidasi yang progresif atau penuaan jangka panjang. Oksidasi merupakan faktor yang paling penting yang menentukan kecepatan penuaan.

Aspal yang digunakan sebagai material jalan berfungsi sebagai berikut:

1. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara sesama aspal.
2. Bahan pengisi, mengisi rongga antar butir agregat dan pori-pori yang ada di dalam butir agregat itu sendiri.

2.1.3.4 Ketentuan Aspal

Aspal keras yang digunakan untuk lapisan AC-WC dapat berupa aspal keras pen 60 dan juga aspal keras pen 80 yang harus memenuhi persyaratan yang tertera pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.2 Persyaratan Aspal Keras

Jenis Pemeriksaan	Cara Pemeriksaan	Persyaratan				Satuan
		Pen 60		Pen 80		
		min	max	min	max	
1. Penetrasi (25°C, 5 detik)	SNI 06-2456-1991	60	79	80	99	0,1 mm
2. Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	48	58	46	54	°C
3. Titik Nyala (clev, open cup)	SNI 06-2433-1991	200	-	225	-	°C
4. Kehilangan berat (163°C, 5 jam)	SNI 06-2441-1991	-	0,4	-	0,6	% berat
5. Kelarutan (CCl ₄ atau CS ₂)	SNI 06-2438-1991	99	-	99	-	% berat
6. Daktilitas (25°C, 5cm/menit)	SNI 06-2432-1991	100	-	100	-	Cm
7. Penetrasi setelah kehilangan berat	SNI 06-2456-1991	75	-	75	-	% awal
8. Berat jenis (25°C)	SNI 06-2488-1991	1	-	1	-	gr/cc

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1983)

2.1.5 Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun buatan (Petunjuk Pelaksanaan Laston Untuk Jalan Raya SKBI -2.4.26.1987).

Fungsi dari agregat dalam campuran aspal adalah sebagai kerangka yang memberikan stabilitas campuran jika dilakukan dengan alat pemadat yang tepat. Agregat sebagai komponen utama atau kerangka dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90% – 95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75% – 85% agregat berdasarkan persentase volume (Sukirman, 2003).

Pemilihan jenis agregat yang sesuai untuk digunakan pada konstruksi perkerasan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu gradasi, kekuatan, bentuk butir, tekstur permukaan, kelekatan terhadap aspal serta kebersihan dan sifat kimia. Jenis dan campuran agregat sangat mempengaruhi daya tahan atau stabilitas suatu perkerasan jalan.

2.1.4.1 Klasifikasi Agregat

Agregat dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Sukirman, 2003):

1. Berdasarkan proses pengolahannya, agregat dapat dibedakan menjadi:
 - a. Agregat Alam

Agregat yang dapat dipergunakan sebagaimana bentuknya di alam atau dengan sedikit proses pengolahannya dinamakan agregat alam. Dua bentuk agregat yang sering digunakan yaitu:

 - 1) Kerikil adalah agregat dengan ukuran partikel lebih besar dari 1/4 inch (6,35 mm).
 - 2) Pasir adalah agregat dengan ukuran partikel kecil dari 1/4 inch tetapi lebih besar dari 0,075 mm (saringan no.200).
 - b. Agregat yang melalui proses pengolahan

Di gunung-gunung atau di bukit-bukit dan di sungai sering ditemui agregat berbentuk besar-besar melebihi ukuran yang diinginkan, sehingga diperlukan proses pengolahan terlebih dahulu sebelum dapat digunakan sebagai agregat konstruksi perkerasan jalan. Agregat ini harus melalui proses pemecahan terlebih dahulu supaya diperoleh:

 - 1) Bentuk partikel bersudut, diusahakan berbentuk kubus.
 - 2) Permukaan partikel kasar sehingga mempunyai gesekan yang baik.
 - 3) Gradasi sesuai yang diinginkan.

Proses pemecahan agregat sebaiknya menggunakan mesin pemecah batu (*stone crusher*) sehingga ukuran partikel-partikel yang dihasilkan dapat terkontrol, berarti gradasi yang diharapkan dapat dicapai spesifikasi yang telah ditetapkan.
 - c. Agregat buatan

Agregat yang merupakan mineral *filler*/pengisi (partikel dengan ukuran <0,075 mm), diperoleh dari hasil sampingan pabrik-pabrik semen dan pemecah batu.
2. Berdasarkan besar partikel-partikel (ukuran butiran) agregat, dapat dibedakan menjadi:
 - a. Agregat kasar adalah agregat yang tertahan pada saringan No.4 (4,75 mm).
 - b. Agregat halus adalah agregat yang lolos saringan no.4 dan tertahan no.200 (0,075 mm).
 - c. Abu batu/mineral *filler*, merupakan bahan berbutir halus yang mempunyai fungsi sebagai pengisi pada pembuatan campuran aspal. *Filler* didefinisikan sebagai fraksi debu mineral/ agregat halus yang umumnya lolos saringan

no.200, bisa berupa kapur, debu batu atau bahan lain, dan harus dalam keadaan kering (kadar air maksimal 1%).

2.1.4.2 Gradasi Agregat

Gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan.

Gradasi agregat merupakan campuran dari berbagai diameter butiran agregat yang membentuk susunan campuran tertentu. Gradasi agregat ini diperoleh dari hasil analisa saringan dengan menggunakan 1 set saringan (dengan ukuran saringan 19,1 mm; 12,7 mm; 9,52 mm; 4,76 mm; 2,38 mm; 1,18 mm; 0,59 mm; 0,149 mm; 0,074 mm), dimana saringan yang paling kasar diletakkan diatas dan yang paling halus terletak paling bawah. Satu saringan dimulai dari pan dan diakhiri dengan tutup (Sukirman, 2003).

Gradasi agregat dibedakan menjadi 3 macam (SNI-03-2834-2000):

1. Gradasi seragam (*uniform graded*) / gradasi terbuka (*open graded*)
Adalah gradasi agregat dengan ukuran yang hampir sama. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka (*open graded*) karena hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga terdapat banyak rongga/ruang kosong antar agregat. Campuran beraspal yang dibuat dengan gradasi ini bersifat porus atau memiliki permeabilitas yang tinggi, stabilitas rendah dan memiliki berat isi yang kecil.
2. Gradasi rapat (*dense graded*)
Adalah gradasi agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus, sehingga sering juga disebut gradasi menerus, atau gradasi baik (*well graded*). Campuran dengan gradasi ini memiliki stabilitas yang tinggi, agak kedap terhadap air dan memiliki berat isi yang besar.
3. Gradasi senjang (*gap graded*)
Adalah gradasi agregat dimana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau ada fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit sekali, oleh sebab itu gradasi ini disebut juga gradasi senjang (*gap graded*). Campuran agregat dengan gradasi ini memiliki kualitas peralihan dari kedua gradasi yang disebutkan di atas.

Tabel 2.3 Gradasi Agregat untuk Campuran Aspal

Ukuran Saringan		% Berat Yang Lolos		
		LASTON (AC)		
(inci)	(mm)	AC-WC	AC-BC	AC-BASE
1½ "	37,5	-	-	100
1 "	25	-	100	90-100
¾ "	19	100	90-100	Maks. 90
½ "	12,5	90-100	Maks. 90	-
⅜ "	9,5	Maks. 90	-	-
No.4	4,75	-	-	-
No.8	2,36	28-58	23-49	19-45
No.16	1,18	-	-	-
No.30	0,60	-	-	-
No.200	No.200	4-10	4-8	3-7
DAERAH LARANGAN				
No.4	4,75	-	-	39,5
No.8	2,36	39,1	34,6	26,8-30,8
No.16	1,18	25,6-31,6	22,3-28,3	18,1-24,1
No.30	0,60	19,1-23,1	16,7-20,7	13,6-17,6
No.50	0,30	15,5	13,7	11,4

Sumber : Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 28PRT/M/2007

2.1.4.3 Berat Jenis Agregat

Berat jenis agregat merupakan perbandingan antara berat volume agregat dan berat volume air. Penyerapan adalah perbandingan antara berat air yang terserap agregat dan berat agregat. Penyerapan dan dua jenis berat jenis yang dapat ditentukan berdasarkan SNI-03-1969-1990 yaitu:

1. Berat jenis bulk (*bulk specific gravity*), yaitu berat jenis di mana volume yang diperhitungkan adalah seluruh volume pori yang ada.

$$BJ \text{ Bulk} = A / (B+S-C)$$
2. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*), yaitu berat jenis dimana volume yang diperhitungkan adalah volume partikel dan bagian yang dapat diresapi air.

$$BJ \text{ Semu} = A / (B+A-C)$$
3. Penyerapan = $((S-A) / A) \times 100\%$
Keterangan: A = Berat contoh kering udara (gr)
B = Berat piknometer isi air (gr)
C = Berat piknometer isi agregat dan contoh (gr)
S = Berat contoh dalam jenuh kering permukaan (gr)

Tabel 2.4 Persyaratan Berat Jenis

Jenis Agregat	Metode	Nilai Minimum
Agregat Kasar	SNI-03-1969-2008	2,5 gr/cc
Agregat Halus	SNI-03-1970-2008	2,5 gr/cc
Filler	SNI-15-2531-1991	1 gr/cc

2.1.4.4 Kadar Lumpur Agregat

Sebagai bahan jalan, butiran agregat yang lemah tidak dikehendaki. Butiran-butiran yang menjadi lemah jika terkena air lebih tidak diinginkan karena perkerasan jalan akan terkena tingkat kebasahan yang tinggi, selain hal tersebut jika sampai pecah biasanya menunjukkan suatu kecenderungan bahwa butiran lemah ini mengandung lempung.

Alat dan prosedur pengujian diuraikan pada SNI 03-4142-1996, secara garis besar adalah sebagai berikut:

Agregat yang berukuran tertahan saringan 1,18 mm dipisahkan menjadi beberapa fraksi dan direndam sekitar 24 jam. Butiran-butiran tersebut diremas dengan jari guna melihat apakah agregat tersebut mudah pecah atau tidak. Butiran halus yang terjadi disaring dan ditimbang. Persentase dari setiap fraksi ukuran agregat yang mudah pecah kemudian ditentukan dengan formula sebagai berikut :

$$P = \frac{W-R}{W} \times 100\%$$

Keterangan:

P = gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat (%).

W = berat benda uji (gram).

R = berat benda uji kering oven yang tertahan pada masing-masing ukuran saringan setelah dilakukan penyaringan basah (gram).

2.1.4.5 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah batuan atau material yang tertinggal pada ayakan saringan No. 8 atau 2,38 mm (*ASTM Standart*) yang terdiri dari batu pecah atau koral atau kerikil pecah (*Petunjuk Pelaksanaan Laston Untuk Jalan Raya, 1987*).

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 28/PRT/M/2007, agregat kasar harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

1. Fraksi agregat kasar untuk rancangan adalah yang tertahan saringan No. 8 (2,36 mm) dan haruslah bersih, keras, awet, dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan yang diberikan dalam tabel 2.5.
2. Fraksi agregat kasar harus batu pecah atau kerikil pecah dan harus disiapkan dalam ukuran nominal. Ukuran maksimum (*maximum size*) agregat adalah satu saringan yang lebih besar dari ukuran nominal maksimum (*nominal maximum size*). Ukuran nominal maksimum adalah satu saringan yang lebih kecil dari saringan pertama (teratas) dengan bahan tertahan kurang dari 10%.
3. Agregat kasar harus mempunyai angularitas seperti yang disyaratkan dalam Tabel 2.5. Angularitas agregat kasar didefinisikan sebagai persen terhadap berat agregat yang lebih besar dari saringan No.8 (2,36 mm) dengan muka bidang pecah satu atau lebih.
4. Agregat kasar untuk latasir kelas A dan kelas B boleh dari kerikil yang bersih.
5. Fraksi agregat kasar harus ditumpuk terpisah dan harus dipasok ke *AMP* dengan melalui pemasok penampung dingin (*cold bin feeds*) sedemikian rupa sehingga gradasi gabungan agregat dapat dikendalikan dengan baik.
6. Batas-batas yang ditentukan dalam Tabel 2.5 untuk partikel kepipihan dan kelonjongan dapat dinaikkan oleh Direksi Pekerjaan bilamana agregat tersebut memenuhi semua ketentuan lainnya dan semua upaya yang dapat dipertanggungjawabkan telah dilakukan untuk memperoleh bentuk partikel agregat yang baik.

Pembatasan lolos saringan No. 200 (0,075 mm) < 1%, pada saringan kering karena agregat kasar yang didekati lumpur tidak dapat dipisahkan pada waktu pengeringan sehingga tidak dapat dilekati aspal.

Tabel 2.5 Persyaratan Agregat Kasar

Pengujian	Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	SNI 03-3407-1994	Maks. 12%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 03-2417-1991	Maks. 40 %
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1991	Min. 95%
Angularitas	SNI 03-6877-2002	95/90(*)
Partikel pipih dan lonjong (**)	RSNI T-01-2005	Maks. 10%
Material lolos saringan No. 200	SNI 03-4142-1996	Maks. 1%

Catatan:

- (*) 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.
- (**) Pengujian dengan perbandingan lengan alat uji terhadap poros 1 : 5
-

Sumber : Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 28PRT/M/2007

2.1.4.6 Agregat Halus

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 28/PRT/M/2007, agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

1. Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau penyaringan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos saringan No.8 (2,36 mm) sesuai SNI 03-6819-2002.
2. Fraksi agregat kasar, agregat halus mesin, dan pasir harus ditumpuk terpisah.
3. Pasir boleh digunakan dalam campuran aspal dengan persentase maksimum yang disarankan untuk laston (AC) adalah 10%.
4. Agregat halus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Agregat halus harus diperoleh dari batu yang memenuhi ketentuan mutu. Agar dapat memenuhi ketentuan mutu, batuan pecah halus harus diproduksi dari batu yang bersih.
5. Agregat halus dan pasir harus ditumpuk terpisah dan harus dipasok ke *AMP* dengan menggunakan pemasok penampung dingin (*cold bin feeds*) yang terpisah sedemikian rupa sehingga rasio agregat pecah halus dan pasir dapat dikontrol dengan baik
6. Agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Persyaratan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 45%
Material lolos saringan No. 200 (0,075 mm)	SNI 03-4142-1996	Mak. 8%
Angularitas	SNI 03-6877-2002	Min. 45%

Sumber : Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 28PRT/M/2007

2.1.4.7 Filler

Bahan pengisi merupakan jenis mikro agregat yang harus lolos saringan No. 200 (0,075 mm). Bahan pengisi biasanya terdiri dari debu batu kapur, debu dolomite, semen portland, abu terbang, debu tanur tinggi pembuat semen atau bahan mineral tidak plastis lainnya. Kapur padam cenderung lebih banyak

digunakan daripada semen portland, karena semen portland harganya yang relatif sangat mahal. (Sukirman, 1999).

Fungsi bahan pengisi adalah untuk meningkatkan kekentalan bahan bitumen dan untuk mengurangi sifat rentan terhadap temperatur. Bahan pengisi juga akan menaikkan volume karena banyak bahan pengisi yang terserap ke dalam bahan bitumen.

Menurut SNI 15-2049-2004 semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak (*clinker*) semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Semen portland yang digunakan untuk konstruksi sipil harus memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Di Indonesia, syarat mutu yang dipergunakan untuk *ordinary portland cement* (OPC) adalah SNI 15-2049-2004.

Tabel 2.7 Gradasi Bahan Pengisi (*filler*)

Ukuran Saringan	Persentase Berat yang Lolos
No. 30 (0,590 mm)	100
No. 50 (0,279 mm)	95-100
No. 100 (0,149 mm)	90-100
No. 200 (0,074 mm)	65-100

Sumber : Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 28PRT/M/2007

2.1.6 Bahan Limbah Karet Ban

Bahan Tambah (*additive*) adalah bahan penambah di dalam campuran aspal yang berfungsi untuk meningkatkan konstruksi perkerasan jalan dan juga untuk meningkatkan stabilitas sehingga jalan semakin kuat. Penggunaan bahan tambah juga dapat meningkatkan daya adhesi atau mengurangi pengelupasan (DPU, 2001)

Menurut Nurminah (2002), Polimer adalah suatu rantai panjang molekul, terdiri dari ratusan molekul yang dibentuk secara berurutan dengan satu atau lebih rantai molekul atau struktur jaringan Polimer secara umum dibagi kedalam dua kategori yaitu plastomer dan elastomer. Plastomer adalah suatu polimer yang membentuk jaringan tiga dimensi yang kaku dan tahan terhadap deformasi. Jenis polimer ini akan cepat memberikan kekuatan jika diberi beban, akan tetapi mudah patah bila diberi regangan yang berlebihan, contoh dari plastomer adalah plastik. Sedangkan elastomer merupakan suatu Polimer yang mempunyai karakteristik

respon elastik yang tinggi, tahan terhadap deformasi yang disebabkan oleh tarikan dan segera kembali ke bentuk asalnya jika beban tarikan tersebut dihilangkan.

Proses pembuatan ban dalam menggunakan tiga bahan utama yaitu karet, karbon hitam dan pelumas. Ketiga material tersebut kemudian dilebur jadi satu agar tercipta gumpalan karet. Kemudian dilanjutkan ke tahapan berikutnya sampai menjadi ban dalam. Sifat-sifat dari karet sebagai berikut (Amiruddin, dkk. 2012) :

1. Memiliki daya elastisitas atau daya lenting sempurna.
2. Memiliki plastisitas baik, sehingga mudah diolah.
3. Mempunyai daya aus tinggi.
4. Tidak mudah panas (low heat build up)
5. Memiliki daya tahan terhadap keretakan.

Limbah karet ban pada penelitian ini menggunakan karet ban dalam kendaraan roda dua yang sudah tidak terpakai, digunting sekecil mungkin dengan ukuran 1-2 mm sehingga menghasilkan karet ban dalam bentuk butiran-butiran kecil. Limbah karet ban ditambahkan pada campuran aspal sebagai bahan aditif. Adapun suatu alasan mengapa digunakan polimer untuk modifikasi aspal karena aspal mempunyai keterbatasan sedangkan modifikasi dengan polimer menaikkan sifat-sifat secara nyata antara lain (Darunifah, 2007):

1. Dapat digunakan pada kondisi lalu lintas tinggi sehingga dapat mengurangi deformasi pada suhu tinggi karena aspal dan Polimer mempunyai titik leleh lebih tinggi dari pada aspal biasa.
2. Dapat menahan gaya geser, karena aspal dan Polimer akan menaikkan ketahanan terhadap gaya geser, ini terutama pada penempatan atau tikungan.

3. Dapat menaikkan umur layanan, karena aspal yang semakin tinggi kekentalanya maka lapisan akan semakin tebal.

Berdasarkan hasil pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) di laboratorium *Fire Engineering* Universitas Negeri Jakarta, didapatkan hasil bahwa limbah karet ban dalam kendaraan dari PT. Kharisma Suma Jaya Sakti, Bekasi memiliki unsur Karbon (C) 79,53%, Kalsium (Ca) 0,55%, Aluminium (Al) 0,42%, Silika (Si) 2,04%, Magnesium (Mg) 1,85%, Sulfur (S) 0,23%, dan Oksigen (O) 15,40%.

2.1.7 Parameter Marshall

Parameter *Marshall* didapat dari suatu metode yang disebut dengan Metode Marshall, yaitu pengujian untuk mengukur ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan (*flow*) dari campuran aspal dengan menggunakan peralatan marshall (Sukirman, 1999). Pemeriksaan ini pertama kali dilakukan oleh Bruce Marshall, selanjutnya dikembangkan oleh *U.S Corps of engineer*. Pengujian marshall sekarang ini mengikuti prosedur dalam manual pemeriksaan bahan jalan (MPBJ) nomor PC-0202-76 atau *American Association of state High way and Transportasion Official* (AASHTO) nomor T-245 atau *American Society for Testing and Materials* (ASTM) nomor D 1559-62T.

2.1.7.1 Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan lapis keras untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya tanpa mengalami perubahan bentuk tetap seperti gelombang (*wash boarding*) dan alur (*rutting*). Nilai stabilitas dipengaruhi oleh bentuk, kualitas, tekstur permukaan dan gradasi agregat yaitu gesekan antar butiran agregat (*internal friction*), penguncian antar agregat

(*interlocking*), daya lekat (*cohesion*) dan kadar aspal dalam campuran. Penggunaan aspal dalam campuran akan menentukan nilai stabilitas campuran tersebut. Seiring dengan penambahan aspal, nilai stabilitas akan meningkat hingga batas maksimum. Penambahan aspal di atas batas maksimum justru akan menurunkan stabilitas campuran itu sendiri sehingga lapis perkerasan menjadi kaku dan bersifat getas (Sukirman, 1999). Nilai stabilitas berpengaruh pada fleksibilitas lapis perkerasan yang dihasilkan. Nilai stabilitas yang disyaratkan adalah lebih dari 800 kg. Lapis perkerasan dengan stabilitas kurang dari 800 kg akan mudah mengalami *rutting*, karena perkerasan bersifat lembek sehingga kurang mampu mendukung beban. Sebaliknya jika stabilitas perkerasan terlalu tinggi maka perkerasan akan mudah retak karena sifat perkerasan menjadi kaku.

Nilai stabilitas didapat dari pembacaan arloji stabilitas pada saat pengujian *Marshall*.

2.1.7.2 Kelelehan

Kelelehan (*Flow*) adalah besarnya deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya. Deformasi yang terjadi erat kaitannya dengan sifat-sifat *Marshall* yang lain seperti stabilitas, *VIM* dan *VFA*. Nilai *VIM* yang besar menyebabkan berkurangnya *interlocking resistance* campuran dan dapat berakibat timbulnya deformasi. Nilai *VFA* yang berlebihan juga menyebabkan aspal dalam campuran berubah konsistensinya menjadi pelicin antar batuan (Sukirman, 1999). Menurut Permen PU NO. 28/PRT/M/2007 nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar dan viskositas aspal, gradasi agregat jumlah dan temperatur pemadatan. Campuran yang memiliki

angka kelelahan rendah dengan stabilitas tinggi cenderung menjadi kaku dan getas. Sedangkan campuran yang memiliki angka kelelahan tinggi dan stabilitas rendah cenderung plastis dan mudah berubah bentuk apabila mendapat beban lalu lintas. Kerapatan campuran yang baik, kadar aspal yang cukup dan stabilitas yang baik akan memberikan pengaruh penurunan nilai *flow*. Nilai *flow* yang rendah akan mengakibatkan campuran menjadi kaku sehingga lapis perkerasan menjadi mudah retak, sedangkan campuran dengan nilai *flow* tinggi akan menghasilkan lapis perkerasan yang plastis sehingga perkerasan akan mudah mengalami perubahan bentuk seperti gelombang (*washboarding*) dan alur (*rutting*). Nilai *flow* itu sendiri dapat langsung dibaca pada arloji *flow* saat pengujian *Marshall* dengan satuan mm.

2.1.7.3 Densitas

Density merupakan tingkat kerapatan campuran setelah campuran dipadatkan. Semakin tinggi nilai *density* suatu campuran menunjukkan bahwa kerapatannya semakin baik. Nilai *density* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti gradasi campuran, jenis dan kualitas bahan penyusun, faktor pemadatan baik jumlah pemadatan maupun temperatur pemadatan, penggunaan kadar aspal dan penambahan bahan *additive* dalam campuran (Sukirman, 2003). Campuran dengan nilai *density* yang tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar dibanding dengan campuran yang memiliki nilai *density* yang rendah, karena butiran agregat mempunyai bidang kontak yang luas sehingga gaya gesek (*friction*) antar butiran agregat menjadi besar. Selain itu *density* juga mempengaruhi kedekatan campuran, semakin besar nilai *density*, maka akan semakin kedap terhadap air dan udara (Sukirman, 1999).

Nilai kerapatan (*density*) dapat dicari dengan rumus:

$$\text{Density} = \frac{\text{Berat benda uji}}{\text{Volume benda uji}}$$

2.1.7.4 Marshall Quotient

Marshall Quotient merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Nilai *Marshall Quotient* akan memberikan nilai fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai *Marshall Quotient* berarti campuran semakin kaku, sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur (Sukirman, 1999). Nilai *Marshall Quotient* dipengaruhi oleh stabilitas dan *flow*. Nilai *Marshall Quotient* yang disyaratkan minimal 250 kg/mm. Nilai *Marshall Quotient* dibawah 250 kg/mm mengakibatkan perkerasan mudah mengalami *washboarding*, *rutting* dan *bleeding*.

$$MQ = \frac{O}{P}$$

Keterangan :

MQ = Marshall Quotient (kg/mm)

O = Nilai Stabilitas (kg)

P = Nilai kelelehan plastis / flow (mm)

2.1.7.5 Rongga Terisi Aspal (Void Filled With Asphalt)

Void Filled With Asphalt (VFA) merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Nilai *VFA* berpengaruh pada sifat kedekatan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastisitas campuran. Dengan kata lain *VFA* menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Semakin tinggi nilai *VFA* berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal

sehingga kekedapan campuran terhadap air dan udara juga semakin tinggi, tetapi nilai *VFA* yang terlalu tinggi akan menyebabkan *bleeding* (Sukirman, 1999). Nilai *VFA* yang terlalu kecil akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara karena lapisan *film* aspal akan menjadi tipis dan akan mudah retak bila menerima penambahan beban sehingga campuran aspal mudah teroksidasi yang akhirnya menyebabkan lapis perkerasan tidak tahan lama (Sukirman, 2004).

VFA dapat dihitung dengan rumus:

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

Keterangan:

VFA = Rongga terisi aspal, persen terhadap *VMA*.

VMA = Rongga di antara mineral agregat.

VIM = Rongga dalam campuran.

2.1.7.6 Rongga Dalam Campuran (void in The Mix)

Void in The Mix (VIM) merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai *VIM* berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai *VIM* menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat *porous*. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi sehingga menyebabkan lekatan antar butiran agregat berkurang sehingga terjadi pelepasan butiran (*ravelling*) dan pengelupasan permukaan (*stripping*) pada lapis perkerasan. Nilai

VIM yang terlalu rendah akan menyebabkan *bleeding* karena suhu yang tinggi, maka viskositas aspal menurun sesuai sifat termoplastisnya (Sukirman, 2004).

Nilai *VIM* yang lebih dari ketentuan akan mengakibatkan berkurangnya keawetan lapis perkerasan, karena rongga yang terlalu besar akan mudah terjadi oksidasi. *VIM* dihitung dengan rumus:

$$VIM = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}$$

Keterangan:

VIM = Kadar rongga dalam campuran. (%)

G_{mb} = Berat jenis curah campuran padat. (gr/cc)

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran. (gr/cc)

2.1.7.7 Rongga Antara Mineral Agregat (VMA)

Void in Mineral Aggregate (VMA) adalah rongga udara antar butir agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume. Kuantitas rongga udara berpengaruh terhadap kinerja suatu campuran, karena jika *VMA* terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas dan jika *VMA* terlalu besar maka campuran bisa memperlihatkan masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi. Nilai *VMA* dipengaruhi oleh faktor pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal (Sukirman, 2004). Nilai *VMA* ini berpengaruh pada sifat kedap air terhadap air dan udara serta sifat elastis campuran. Dapat juga dikatakan bahwa nilai *VMA* menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Nilai *VMA* minimum yang disyaratkan adalah 15 %.

VMA dihitung menggunakan rumus:

$$\text{VMA} = 100 \times \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}}$$

Keterangan:

VMA = Kadar rongga antara mineral agregat. (%)

G_{mb} = Berat Jenis curah campuran padat. (gr/cc)

G_{sb} = Berat jenis curah agregat. (gr/cc)

2.2 Penelitian Relevan

Dibawah ini adalah penelitian yang dilakukan dan dapat dijadikan acuan atau literature untuk penyusunan skripsi atau penelitian ini, sebagai berikut:

1. Darunifah (2007), dari Universitas Diponegoro Semarang melakukan penelitian dengan judul ***Pengaruh Bahan Tambah Karet Padat Terhadap Karakteristik Campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)***. Pada penelitian ini digunakan karet ban dengan kadar 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% terhadap berat aspal, serta diteliti juga mengenai perbandingan sifat-sifat campuran HRS-WC dengan menggunakan acuan kadar aspal optimum (KAO) yang kemudian divariasikan menjadi variasi kadar aspal 6,1%, 6,6%, 7,1%, 7,6%, dan 8,1% pada kondisi standar (2x75) tumbukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa KAO yang dipakai (7,1%) sangat mempengaruhi hasil *Density*, VMA, VIM, *Flow*, Stabilitas, MQ dan IRS. Dengan berbagai modifikasi persentase karet pada aspal mampu meningkatkan serta mempertahankan kerapatannya, ikatan antar agregat dengan aspal sebagai

bahan pengikat semakin kuat sehingga dapat menahan beban lalu lintas yang berat tanpa terjadi bleeding, keawetan meningkat, elastisitas aspal meningkat dan semakin fleksibel. Penambahan karet pada aspal belum tentu menghasilkan kualitas campuran yang jelek. Untuk jenis campuran HRS-WC dengan variasi kadar karet pada aspal akan menghasilkan nilai struktural campuran aspal yang lebih baik sewaktu aspal 7,1% dengan penambahan karet pada aspal sebesar 2%.

2. Lololaen (2014), dari Universitas Atma Jaya Yogyakarta melakukan penelitian dengan judul *Pengaruh Penambahan Karet Ban-Dalam Bekas Sebagai Bahan Tambah Terhadap Sifat Marshall HRA (Hot Rolled Asphalt)*. Pada penelitian ini upaya peningkatan kualitas jalan dilakukan dengan menambahkan potongan karet ban-dalam bekas ban motor kedalam campuran aspal *Hot Rolled Asphalt* (HRA) sebesar 0%, 4%, 5% dan 6% terhadap kadar aspal sebesar 6%, 6,5%, 7%, 7,5% menggunakan pengujian *Marshall*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis campuran HRA setelah dicampur dengan bahan tambah *additive* yaitu karet ban-dalam bekas ban motor terhadap sifat *marshall test*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *density* semuanya memenuhi syarat, kemudian nilai VFWA semuanya memenuhi syarat terkecuali pada kadar aspal 6% di kadar *additive* 4%-6%. Nilai VITM yang memenuhi syarat mengandung kadar aspal 6% tanpa *additive*, pada kadar aspal 6,5% di *additive* 4% pada kadar aspal 6% dan 6,5% di *additive* 5%, serta terdapat di kadar aspal 6%-7% pada *additive* 6%. Nilai *flow* yang memenuhi syarat pada kadar *additive* 5% di kadar aspal 6,5%-7,5% serta *additive* 6% pada kadar aspal 6%, 7% dan 7,5%. Semua nilai stabilitas dan nilai QM memenuhi

syarat. Kadar aspal optimum diperoleh pada campuran aspal 7% dengan penambahan *additive* sebesar 5% dan 6%.

3. Amiruddin, dkk. (2012), dari Universitas Hasanuddin Makassar melakukan penelitian dengan judul ***Kajian Eksperimental Campuran HRS-WC Dengan Aspal Minyak dan Penambahan Aditif Lateks Sebagai Bahan Pengikat***. Pada penelitian ini digunakan karet alam (lateks) jenis lump sebagai bahan tambah aspal. Pada penelitian ini menggunakan kadar aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5% dan 6%. Sedangkan kadar karet yang digunakan 6%, 7%, dan 8%. Didapat nilai stabilitas *marshall* tertinggi pada kadar aspal 5,5% dan karet 8% sebesar 1283,55 kg. Nilai *flow* tertinggi sebesar 4,8% pada campuran aspal 6% dan karet 6%. Nilai *marshall quotient* terbesar 378,74 kg/mm pada kadar aspal 4% dan kadar karet 8%. Penambahan karet pada aspal minyak dalam campuran HRS-WC menunjukkan nilai stabilitas *marshall* yang semakin baik yang mengindikasikan bahwa *interlocking* antar agregat semakin baik, nilai *flow* yang semakin rendah, dan *marshall quotient* semakin tinggi.

2.3 Kerangka Berpikir

Infrastruktur memegang peranan penting sebagai salah satu roda penggerak pertumbuhan ekonomi dan pembangunan. Keberadaan infrastruktur yang memadai sangat diperlukan. Sarana dan prasarana fisik, atau sering disebut dengan infrastuktur, merupakan bagian yang sangat penting dalam sistem pelayanan masyarakat.

Jalan raya merupakan penghubung antar daerah via darat. Di Indonesia menggunakan aspal sebagai bahan utama struktur jalan raya. Pembangunan jalan di

Indonesia semakin meningkat dari tahun ke tahun dan membutuhkan material jalan yang lebih besar. Kebutuhan aspal 5 tahun terakhir sekitar 1,2 juta ton per tahunnya, dan akan semakin meningkat dimasa mendatang. Mengingat produksi aspal dalam negeri yang hanya sekitar 400 ribu ton per tahun (DPU, 2013). Kekurangan dari produksi aspal dalam negeri harus ditunjang dengan mengimpor aspal dari luar negeri demi kebutuhan pembangunan.

Kebutuhan aspal tiap tahun meningkat, solusi dari kebutuhan tersebut bisa dengan meningkatkan mutu dan kualitas aspal. Penambahan bahan tambah (*additive*) pada aspal adalah salah satu cara meningkatkan mutu dari campuran aspal. Dengan memanfaatkan bahan polimer yang memiliki sifat yang serupa dengan aspal, diharapkan dapat meningkatkan mutu serta memanfaatkan bahan yang murah untuk bahan tambah pada aspal.

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor sebanyak 7.184.925 unit pada tahun 2014 sampai 2015, total jumlah pada tahun 2015 tercatat 98.881.267 unit kendaraan bermotor (BPS, 2015). Peningkatan jumlah kendaraan juga berimbas pada peningkatan produksi ban kendaraan. Dengan umur masa pakai ban bekisar 3-5 tahun, maka limbah ban-ban bekas yang tidak terpakai di lingkungan semakin meningkat tiap tahunnya. Pengolahan ban bekas dilakukan semata-mata tidak hanya mengatasi masalah limbah tersebut tetapi juga harus menguntungkan secara ekonomi. Nilai tambah yang besar akan didapat bila produk pengolahan ban bekas tersebut memiliki nilai ekonomi tinggi.

Adapun suatu alasan mengapa digunakan polimer untuk modifikasi aspal karena aspal mempunyai keterbatasan sedangkan modifikasi dengan polimer menaikkan sifat-sifat secara nyata antara lain (Darunifah, 2007):

4. Dapat digunakan pada kondisi lalu lintas tinggi sehingga dapat mengurangi deformasi pada suhu tinggi karena aspal dan Polimer mempunyai titik leleh lebih tinggi dari pada aspal biasa.
5. Dapat menahan gaya geser, karena aspal dan Polimer akan menaikkan ketahanan terhadap gaya geser, ini terutama pada penempatan atau tikungan.

Dapat menaikkan umur layanan, karena aspal yang semakin tinggi kekentalanya maka lapisan akan semakin tebal.

Berdasarkan penelitian-penelitian relevan diatas maka perlu diteliti lebih lanjut mengenai pengaruh penambahan limbah karet ban pada campuran beraspal dengan persentasi 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% terhadap aspal.

Diharapkan pada penelitian ini dapat diketahui kualitas lapis aus permukaan aspal beton (AC-WC) dan kinerjanya terhadap campuran beraspal dengan menambahkan limbah karet ban.

2.4 Hipotesis

Berdasarkan kerangka berfikir diatas dapat dirumuskan hipotesis sebagai berikut:

Diduga campuran lapis aus permukaan beton (AC-WC) yang menggunakan limbah karet ban kendaraan sebagai bahan tambah memenuhi persyaratan Permen PU No.28/PRT/M/2007 dan meningkatkan parameter *Marshall*.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui manfaat penambahan limbah karet ban-dalam pada campuran lapis aus permukaan aspal beton (AC-WC) terhadap parameter *Marshall*.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian untuk uji pendahuluan dan uji *Marshall* akan dilaksanakan di Laboratorium Balai Irigasi, Jalan Cut Mutia, Bekasi. Sedangkan limbah serbuk karet ban bekas didapat dari sisa karet ban kendaraan bermotor yang sudah tidak terpakai. Waktu penelitian dilakukan mulai bulan November 2016 sampai Desember 2016.

3.3 Metode Penelitian

Metode yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen yang didukung dengan berbagai literatur yang berhubungan dengan pokok masalah.

3.4 Pengambilan Sampel

3.4.1 Populasi

Populasi dalam penelitian ini adalah benda uji *Marshall* yang menggunakan limbah karet ban kendaraan sebagai bahan aditif.

3.4.2 Sampel

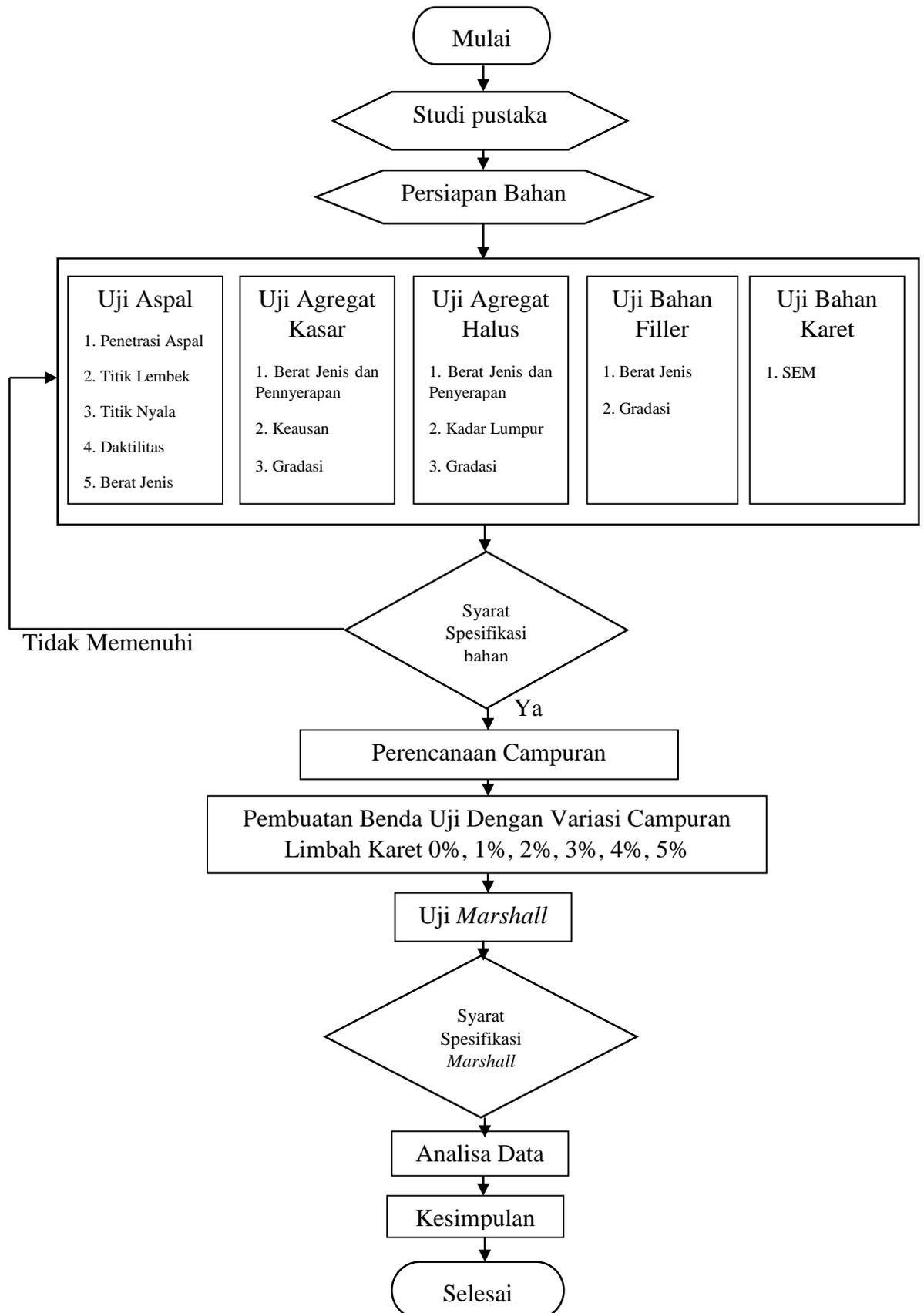
Sampel yang akan diuji dalam penelitian berjumlah 30 sampel yang merupakan keseluruhan dalam populasi yang akan diuji parameter *Marshall*. Benda uji

berbentuk silinder dengan diameter 10,16 cm dan tinggi 7,62 cm dengan ketentuan sebagai berikut :

1. 5 benda uji dengan penambahan karet ban 0% sebagai bahan aditif
2. 5 benda uji dengan penambahan karet ban 1% sebagai bahan aditif
3. 5 benda uji dengan penambahan karet ban 2% sebagai bahan aditif
4. 5 benda uji dengan penambahan karet ban 3% sebagai bahan aditif
5. 5 benda uji dengan penambahan karet ban 4% sebagai bahan aditif
6. 5 benda uji dengan penambahan karet ban 5% sebagai bahan aditif

3.5 Rancangan Penelitian

Proses penelitian dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini :



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Tahap Persiapan

Dalam persiapan penelitian ini dilakukan segala hal yang mendukung terlaksananya proses penelitian. Dimulai dari persiapan bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian, yaitu:

3.6.1.1 Peralatan

Terdiri atas :

1. Enam buah cetakan benda uji diameter 101,6 mm (4 in), tinggi 76,2 mm (3 in) lengkap dengan pelat atas dan leher sambung.
2. Mesin penumbuk manual atau otomatis lengkap dengan :
 - a. Penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata yang berbentuk silinder, dengan berat 4.536 gram (± 9 gram), tinggi jatuh bebas 457,2 mm $\pm 15,24$ mm (18 inch $\pm 0,6$ in).
 - b. Landasan pemadat terdiri atas balok kayu (jati atau yang sejenis) mempunyai berat isi 0,67 – 0,77 kg/cm³ (dalam kondisi kering) dengan ukuran 203,2 x 203,2 x 457,2 mm (8 x 8 x 18 in) dilapisi dengan pelat baja berukuran 304,8 x 304,8 x 25,4 mm (12 x 12 x 1 in) dan dijangkarkan pada lantai beton di keempat bagian sudutnya.
 - c. Pemegang cetakan benda uji.
3. Alat pengeluar benda uji, untuk mengeluarkan benda uji yang sudah dipadatkan dari dalam cetakan, digunakan alat pengeluar benda uji (*extruder*) dengan diameter 100 mm (3,95 in).
4. Alat *marshall* lengkap dengan :

- a. Kepala penekan (*breaking head*) berbentuk lengkung, dengan jari-jari bagian dalam 50,8 mm (2 in).
 - b. Dongkrak pembebanan (*loading jack*) yang digerakkan secara elektrik dengan kecepatan pergerakan vertikal 50,8 mm/menit (2 in/menit).
 - c. Cincin penguji (*proving ring*) dengan kapasitas 2500 kg dan atau 5000 kg, dilengkapi arloji (*dial*) tekan dengan ketelitian 0,0025 mm (0,001 in).
 - d. Arloji pengukur pelelehan dengan ketelitian 0,25 mm (0,1 in).
5. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur temperatur yang mampu memanaskan campuran sampai $200^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$.
 6. Bak perendam (*water bath*) dengan kedalaman 152,4 mm (6 in) yang dilengkapi dengan pengatur temperatur yang dapat memelihara temperatur bak perendam pada $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.
 7. Timbangan yang dilengkapi dengan penggantung benda uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gram dan timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gram.
 8. Termometer logam berkapasitas 10°C sampai 500°C dengan ketelitian $2,8^{\circ}\text{C}$.
 9. Termometer gelas untuk pengukur temperatur air dengan sensitivitas sampai $0,2^{\circ}\text{C}$.
 10. Perlengkapan lain :
 - a. Wadah untuk memanaskan agregat, aspal dan campuran beraspal.
 - b. Sendok pengaduk dan spatula.
 - c. Kompor atau pemanas (*hot plate*).
 - d. Sarung tangan serta pelindung pernafasan (*masker*).

3.6.1.2 Bahan

1. Contoh uji :
 - a. Aspal keras penetrasi 80/90 dari Pertamina Cilacap.
 - b. Agregat kasar (split) dengan ukuran maksimum 19 mm yang berasal dari Kuningan, Jawa Barat.
 - c. Agregat halus berupa pasir yang berasal dari Bangka Belitung.
 - d. Bahan pengisi (*filler*) semen PC merek Tiga Roda dari PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. jenis I yang sudah memenuhi SNI 15-2049-2004.
 - e. Limbah serbuk karet ban kendaraan

3.6.2 Pemeriksaan Bahan

Sebelum bahan-bahan yang sudah tersedia digunakan dalam penelitian, maka harus diadakan pemeriksaan terhadap bahan-bahan tersebut. Adapun pemeriksaan terhadap tiap-tiap bahan adalah sebagai berikut:

1. Semen Portland
 - 1) Semen Portland diuji analisis saringan sesuai dengan SNI 03-4142-1996.
 - 2) semen Portland di uji berat jenis sesuai SNI 15-2531-1991

Berat jenis dinyatakan dengan rumus $\frac{V_0}{V_2-V_1}$

V_0 = berat semen

V_1 = volume sebelum dimasukkan semen

V_2 = volume setelah dimasukkan semen

2. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah yang berasal dari Kuningan, Jawa Barat yang sudah mengalami pemecahan dan diayak sesuai

syarat untuk campuran beton aspal panas. Adapun pemeriksaan terhadap agregat kasar antara lain:

1) Pengujian Berat Jenis (berdasarkan SNI 03-1969-1990)

- a) Berat jenis dinyatakan dengan rumus $\frac{C}{G-H}$
- b) Berat jenis jenuh kering permukaan jenuh dinyatakan dalam rumus $\frac{G}{G-H}$
- c) Berat jenis semu dinyatakan dalam rumus $\frac{C}{C-H}$
- d) Penyerapan dinyatakan dalam persen. Dinyatakan dalam rumus $\frac{G-C}{C} \times 100\%$

Keterangan:

H = Berat agregat dalam air

G = Berat contoh kondisi SSD

C = Berat agregat kering oven

2) Pengujian Analisis Saringan (berdasarkan SNI 03-1968-1990)

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

- a) Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2%
- b) Perangkat saringan agregat kasar dengan ukuran lubang 37.5 mm, 25 mm, 19.1 mm, 12.5 mm, 9.5 mm, no.4 (4.75 mm), no.8 (2.38 mm), no.16 (1.19 mm), no.30 (0.59 mm), no.50 (0.297 mm), no.100 (0.149 mm), no.200 (0.075 mm) .
- c) Oven
- d) Alat pemisah contoh (*sample splitter*)

e) Mesin penggetar saringan

f) Talam

3) Pengujian Kadar Air (berdasarkan SNI 03-1971-1990)

Alat yang digunakan adalah timbangan dengan ketelitian 0,1% dari berat contoh, oven dan talam logam. Perhitungan kadar air dinyatakan dalam rumus :

$$\text{Kadar Air Agregat} = \frac{W3-W5}{W5} \times 100\%$$

Keterangan:

W3 = Berat contoh semula (gram)

W5 = Berat contoh kering (gram)

3. Agregat halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini berupa pasir yang berasal dari Bangka Belitung. Adapun pemeriksaan terhadap pasir meliputi:

1) Pengujian Kadar Lumpur (berdasarkan SNI 03-4428-1992)

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu gelas ukur 1000 ml, plastik dan karet penutup.

$$\text{Perhitungan kadar lumpur pasir} = \frac{V1}{V1+V2} \times 100\%$$

Keterangan :

V1 = Volume lumpur dalam gelas ukur

V2 = Volume pasir dalam gelas ukur

2) Pengujian Analisis saringan (berdasarkan SNI 03-1968-1990)

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah :

- a) Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2%
 - b) Perangkat saringan agregat kasar dengan ukuran lubang 37.5 mm, 25 mm, 19.1 mm, 12.5 mm, 9.5 mm.
 - c) Perangkat saringan agregat halus no.4 (4.75 mm), no.8 (2.38 mm), no.16 (1.19 mm), no.30 (0.59 mm), no.50 (0.297 mm), no.100 (0.149 mm), no.200 (0.075 mm).
 - d) Oven
 - e) Alat pemisah contoh (*sample splitter*)
 - f) Mesin penggetar saringan
 - g) Talam
- 3) Pengujian Berat Jenis (berdasarkan SNI 03-1970-1990)

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan angka untuk berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu dan penyerapan (absorpsi) dari agregat halus.

- a) Berat jenis curah dinyatakan dengan rumus $\frac{E}{B+D-C}$
- b) Berat jenis jenuh kering permukaan dinyatakan dalam rumus $\frac{B}{B+D-C}$
- c) Berat jenis semu dinyatakan dalam rumus $\frac{E}{E+D-C}$
- d) Penyerapan dinyatakan dalam persen. Dinyatakan dalam rumus $\frac{B-E}{E} \times 100\%$

Keterangan :

A = Berat Piknometer

B = Berat contoh Kondisi SSD

C = Berat Piknometer + contoh pasir + air

D = Berat Piknometer + air

E = Berat contoh kering pasir (oven)

4) Pengujian Kadar Air (berdasarkan SNI 03-1971-1990)

Tujuan pengujian ini adalah untuk memperoleh angka persentase dari kadar air yang dikandung oleh agregat. Perhitungan kadar air dinyatakan dalam rumus :

$$\text{Kadar Air Agregat} = \frac{W3-W5}{W5} \times 100\%$$

Keterangan :

W3 = Berat contoh semula (gram)

W5 = Berat contoh kering (gram)

4. Aspal

Pemeriksaan terhadap aspal meliputi uji penetrasi, titik lembek, daktilitas, titik nyala, dan berat jenis.

5. Limbah karet ban-dalam

Limbah karet ban-dalam potong dengan ukuran 1-2 mm, lalu dicampur aspal dengan cara dilelehkan bersama aspal pada suhu tertentu hingga homogen 100% terhadap aspal dengan catatan tidak melebihi suhu titik bakar aspal.

3.6.3 Perencanaan Campuran

Perencanaan dengan metode *Ashpalt Institute* bertitik tolak pada stabilitas yang dihasilkan. Oleh karena itu yang menjadi dasar adalah gradasi agregat campuran. Perencanaan campuran agregat dapat dilakukan dengan menggunakan grafik ataupun analitis. Rumus dasar pencampuran adalah :

$$P = Aa + Bb + Cc$$

Dimana :

P = persen lolos agregat campuran dengan ukuran tertentu

A, B, C = persen lolos agregat pada saringan masing-masing ukuran

a, b, c = proporsi masing-masing agregat yang digunakan dengan jumlah total 100%

Persamaan dasar di atas dapat digunakan untuk penggabungan beberapa fraksi agregat, diantaranya :

1. Rumus dasar penggabungan gradasi dari dua jenis fraksi agregat :

$$P = Aa + Bb$$

Untuk $a + b = 1$ maka : $a = 1 - b$

Dengan pengertian :

P = persen lolos agregat campuran dengan ukuran tertentu

A, B = persen bahan yang lolos saringan masing-masing ukuran

a, b = proporsi masing-masing agregat yang digunakan, jumlah total 100 %

Dengan menggunakan persamaan di atas dapat dihitung :

$$b = \frac{P-A}{B-A} \text{ atau } a = \frac{P-B}{A-B}$$

2. Rumus dasar penggabungan gradasi tiga jenis fraksi agregat :

$$P = Aa + Bb + Cc$$

Dengan menggunakan persamaan diatas dapat dihitung $c = \frac{B(a)-P}{B-C}$

dengan pengertian :

P = persen lolos agregat campuran dengan ukuran tertentu

A, B, C = persen lolos agregat pada saringan masing-masing ukuran

a, b, c = proporsi masing-masing agregat yang digunakan dengan jumlah total
100 %

Persen kombinasi masing-masing ukuran agregat harus mendekati persen yang diperlukan untuk kombinasi agregat. Gradasi campuran tidak boleh keluar dari titik kontrol atau batas gradasi yang diisyaratkan dan sedapat mungkin harus berada diantara titik-titik kontrol gradasi (tidak perlu di tengah-tengah batas gradasi tersebut dan tidak memotong zona terbatas). Detail perhitungan proporsi bahan yang dibutuhkan terdapat pada lampiran 15.

3.6.4 Kadar Aspal Rencana

Untuk mendapatkan kadar aspal rencana (tengah/ideal) dapat digunakan persamaan rumus (*British Standart*):

$$P_b = 0,035 (a) + 0,045 (b) + 0,18 (c) + K$$

dengan:

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

a : Agregat kasar, persen agregat hitung perencanaan campuran

b : Agregat halus, persen agregat hitung perencanaan campuran

c : Bahan pengisi, persen *filler* hitung perencanaan campuran

K : Konstanta

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

Detail perhitungan kadar aspal rencana terdapat pada lampiran 16.

3.6.5 Kebutuhan Bahan

Pada tahap ini bahan yang dibutuhkan untuk benda uji *Marshall* dihitung sesuai dengan perencanaan campuran dan kadar aspal rencana. Berikut ini ialah tabel proporsi bahan campuran berdasarkan kebutuhan satu benda uji setiap variasi kadar bahan tambah karet.

Tabel 3.1 Proporsi Bahan Campuran Satu buah Benda Uji

Kadar Aditif Karet	Jumlah (gram)					Total
	Aditif Karet	Aspal (6%)	Agg. Kasar (51%)	Agg. Halus (42%)	Filler (7%)	
0%	-	72	612	504	84	1272
1%	0.72	72	612	504	84	1272.72
2%	1.44	72	612	504	84	1273.44
3%	2.16	72	612	504	84	1274.16
4%	2.88	72	612	504	84	1274.88
5%	3.6	72	612	504	84	1275.6
Kebutuhan						
Setiap Bahan	10.8	432	3672	3024	504	7642.8

Dapat dilihat pada tabel diatas kebutuhan total karet ban sebesar 10.8 gram, aspal sebesar 432 gram, agregat kasar sebesar 3672 gram, agregat halus sebesar 3024 gram dan *filler* sebesar 504 gram untuk kebutuhan seluruh variasi kadar karet persatu benda uji. Kebutuhan bahan untuk 5 buah benda uji *Marshall* tiap kadar bahan tambah karet bisa dilihat pada tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.2 Proporsi Bahan Campuran Lima Buah Benda Uji

Jumlah (gram)						
Kadar Aditif	Aditif	Aspal	Agg. Kasar	Agg. Halus	Filler	Total
Karet	karet	(6%)	(51%)	(42%)	(7%)	
0%	-	360	3060	2520	420	6360
1%	3.6	360	3060	2520	420	6363.6
2%	7.2	360	3060	2520	420	6367.2
3%	10.8	360	3060	2520	420	6370.8
4%	14.4	360	3060	2520	420	6374.4
5%	18	360	3060	2520	420	6378
Kebutuhan						
setiap bahan	54	2160	18360	15120	2520	38214

Pada tabel di atas diketahui kebutuhan keseluruhan bahan untuk karet sebesar 54 gram, aspal sebesar 2160 gram, agregat kasar 18360 gram, agregat halus 15120 gram dan *filler* sebesar 2520 gram. Persentase proporsi bahan dan kadar aspal dapat dilihat pada lampiran 15 dan 16.

3.6.6 Pembuatan Benda Uji

Setelah seluruh tahap perencanaan sudah dilakukan dan sudah didapatkan persentase pencampuran agregat dan aspal yang pasti, maka dapat dilanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu tahap pembuatan benda uji. Dalam tahapan pembuatan benda uji atau spesimen pengujian *Marshall* dilakukan dengan Metode Bina Marga sebagai berikut:

1. Keringkan agregat kasar dan halus dengan menggunakan oven pada suhu 105° - 110°C minimum selama 4 jam, lalu keluarkan dari oven dan tunggu sampai beratnya tetap.
2. Siapkan bahan untuk setiap benda uji yang diperlukan sesuai perhitungan pada kebutuhan bahan.
3. Panaskan wadah pencampur beserta agregat 28°C di atas suhu pencampuran untuk aspal padat. Bila menggunakan aspal cair pemanasan 14°C di atas suhu pencampuran. Suhu pencampuran pada penelitian ini adalah 150°C .
4. Tuangkan aspal yang sudah mencapai tingkat kekentalan (tercapai pada suhu 220°C) sebanyak yang dibutuhkan ke dalam agregat yang sudah dipanaskan tersebut. Kemudian aduklah dengan cepat, dengan tetap mempertahankan masih di dalam rentang suhu pemadatan (150°C), sampai agregat terselimuti aspal secara merata.

5. Persiapkan alat untuk memadatkan, yaitu dengan membersihkan perlengkapan cetakan benda uji serta bagian muka penumbuk dengan seksama.
6. Letakkan cetakan di atas landasan pematat dan tahan dengan pemegang cetakan.
7. Masukkan seluruh campuran ke dalam cetakan dan tusuk-tusuk campuran keras-keras dengan spatula sebanyak 15 kali keliling pinggirannya dan 10 kali di bagian tengahnya.
8. Siapkan alat pematat dan lakukan pemadatan dengan menumbuk spesimen dengan jumlah tumbukan sebanyak 75 tumbukan, karena kelas jalan yang direncanakan adalah kelas jalan I.
9. Tumbukan dilakukan dengan tinggi jatuh 457,2 mm dan selama pemadatan harus diperhatikan agar kedudukan sumbu palu pematat selalu tegak lurus pada alas cetakan.
10. Lepaskan pelat alas berikut leher sambung dari cetakan benda uji kemudian cetakan yang berisi benda uji dibalikkan dan pasang kembali pelat alas berikut leher sambung pada cetakan yang dibalikkan tadi. Lakukan penumbukan lagi dengan jumlah yang sama.
11. Lepaskan keping alas dan dinginkan sampai diperkirakan tidak akan terjadi perubahan bentuk jika benda uji dikeluarkan dari mold. Untuk mempercepat proses pendinginan, dapat digunakan kipas angin. Proses pendinginannya biasanya dilakukan sekitar 2 – 3 jam, pada pembuatan benda uji ini didinginkan selama 2 jam.

12. Keluarkan benda uji atau spesimen *marshall* dari mold dengan hati-hati dan kemudian letakkan spesimen permukaan yang rata dan biarkan sampai benar-benar dingin sebaiknya didiamkan pada suhu ruang selama 24 jam.

3.6.7 Tahap Pengujian

Ada tiga tahap pengujian yang dilakukan dari metode *Marshall* yaitu melakukan pengukuran berat jenis, pengukuran stabilitas dan flow, serta pengukuran kerapatan dan analisa rongga.

Sebelum dilakukan pengujian spesimen atau benda uji *Marshall* perlu dilakukan hal-hal sebagai berikut:

1. Benda uji harus bersih dari kotoran organik, minyak, kertas dan sebagainya.
2. Setiap benda uji diberi tanda pengenal yang mencirikan campuran benda uji tersebut.
3. Ukur tinggi masing-masing benda uji dengan menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,1 mm. tinggi benda uji adalah rata-rata dari 3 kali pengukuran.

3.6.7.1 Pengukuran Berat Jenis Benda Uji

Dalam pengukuran berat jenis campuran pada tahap ini didasarkan pada ASTM D6927. Pengukuran berat jenis campuran meliputi:

1. Timbang benda uji dan didapatkan berat benda uji kering.
2. Masukkan benda uji ke dalam air bersuhu 25°C selama 3 – 5 menit dan kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji dalam air.
3. Angkat benda uji dari dalam air, selimuti dengan kain yang dapat menyerap air, dan segera timbang untuk mendapatkan berat benda uji kondisi jenuh –

kering permukaan (SSD). Penyelimutan dengan kain adalah hanya untuk menghilangkan air yang berada di permukaan dan dilakukan dengan cepat. Proses dari sejak pengambilan benda uji dari dalam air, penyelimutan dengan kain, dan penimbangan sebaiknya dilakukan tidak lebih dari 30 detik.

4. Berat jenis curah (*Bulk Specific Gravity*) benda uji adalah berat benda uji kering / (berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan – berat benda uji dalam air).

3.6.7.2 Pengukuran Stabilitas dan Flow

1. Rendamlah benda uji dalam bak perendam (*water bath*) selama 30 menit dengan suhu tetap $(60 \pm 1)^\circ\text{C}$.
2. Keluarkan benda uji dari bak perendam atau dari oven dan letakkan ke dalam segmen bawah kepala penekan dengan catatan bahwa waktu yang diperlukan dari saat diangkatnya benda uji dari bak perendaman sampai tercapainya beban maksimum tidak boleh melebihi 30 detik.
3. Pasang segmen atas di atas benda uji dan letakkan keseluruhannya dalam mesin penguji.
2. Pasang arloji pengukur kelelahan (*Flow*) pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan.
3. Naikkan kepala penekan beserta benda ujinya dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji, sebelum pembebanan diberikan.
4. Atur jarum arloji tekan pada kedudukan angka nol.

5. Berikan pembebanan pada benda uji dengan kecepatan tetap sekitar 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai, atau pembebanan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum.
6. Catat nilai pelelehan (*flow*) pada saat pembebanan maksimum tercapai.

3.6.7.3 Pengukuran Kerapatan dan Analisa Rongga

Setelah pengukuran berat jenis benda uji, selanjutnya dapat diukur kerapatan dan rongga sebagai berikut:

1. Perhitungan *Bulk Specific Gravity* Agregat:

$$= 100 / \left(\frac{\% \text{ Agregat Kasar}}{BJ_{\text{bulk}} \text{ Agregat Kasar}} + \frac{\% \text{ Agregat Halus}}{BJ_{\text{bulk}} \text{ Agregat Halus}} + \frac{\% \text{ Filler}}{BJ \text{ Filler}} \right)$$

2. Perhitungan *Effective Specific Gravity* Agregat:

$$= 100 / \left(\frac{\% \text{ Agregat Kasar}}{BJ_{\text{efektif}} \text{ Agregat Kasar}} + \frac{\% \text{ Agregat Halus}}{BJ_{\text{bulk}} \text{ Agregat Halus}} + \frac{\% \text{ Filler}}{BJ \text{ Filler}} \right)$$

3. Perhitungan *Bulk Specific Gravity* Campuran:

$$= \frac{\text{Berat Benda Uji Kering}}{\text{Berat Benda Uji Kondisi Jenuh Kering Permukaan} - \text{Berat Benda Uji Dalam Air}}$$

4. Berat Jenis Maksimum Campuran Teoritis (*Max. Theoretical Specific Gravity*)

$$= 100 / \left(\frac{\% \text{ agregat dalam campuran}}{BJ \text{ agregat}} + \frac{\% \text{ aspal dalam campuran}}{BJ \text{ aspal}} \right)$$

5. Volume Benda Uji (Campuran)

$$= \text{Berat Benda Uji Kondisi jenuh Kering Permukaan} - \text{Berat Benda Uji dalam Air}$$

6. Berat isi benda uji (Campuran)

$$= \frac{\text{Bulk Specific Gravity Campuran}}{\text{Volume Benda Uji (Campuran)}}$$

7. Perhitungan Total Rongga dalam Campuran, VIM:

$$= 100 - \frac{100 \times \text{Berat Isi Benda Uji}}{\text{Berat Jenis Maksimum Campuran Teoritis}}$$

8. Perhitungan Jumlah Rongga dalam Agregat (VMA, *void in the mineral aggregate*):

$$= 100 - \frac{(100 - \text{Kadar Aspal Terhadap Campuran}) \times \text{Bulk Specific Gravity Campuran}}{\text{Bulk Specific Gravity Agregate}}$$

9. Rongga Terisi Aspal, VFA (*Void filled With Asphalt*)

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

3.7 Teknik Pengambilan Data

Parameter *marshall* pada penelitian ini diambil dari hasil pengujian benda uji dengan menggunakan alat *Marshall* dan juga melalui perhitungan.

3.8 Teknik Analisa Data

Teknik analisis data yang dihasilkan merupakan hasil parameter *Marshall*, Hasil pengolahan data dibuat dalam bentuk diagram dan tabel dengan bantuan program Microsoft Excel yang dibandingkan terhadap persyaratan dan selanjutnya disimpulkan secara deskriptif.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Hasil Uji Pendahuluan

4.1.1 Pengujian Aspal

Aspal pada penelitian ini menggunakan aspal keras. Aspal berasal dari Cilacap, Jawa Tengah. Aspal yang digunakan sudah tersedia di Laboratorium Jalan Balai Irigasi Bekasi. Hasil uji pendahuluan untuk aspal dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Pendahuluan Aspal

Jenis Pemeriksaan	Standar uji	Persyaratan		Hasil Pengujian	Satuan	Lampiran
		Pen 80 min	max			
1. Penetrasi (25°C, 5 detik)	SNI 06-2456-1991	80	99	85,75	0,1 mm	4 (hal 79)
2. Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	46	54	46	°C	5 (hal 85)
3. Titik Nyala	SNI 06-2433-1991	225	-	340	°C	6 (hal 91)
4. Daktilitas (25°C, 5 cm /	SNI 06-2432-1991	100	-	125	Cm	7 (hal 97)
5. Berat jenis (25°C)	SNI 06-2488-1991	1	-	1,05	-	8 (hal 103)

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Aspal + 1% Karet

Jenis Pemeriksaan	Standar uji	Persyaratan Pen 80		Hasil Pengujian	Satuan	Lampiran
		min	max			
1. Penetrasi (25°C, 5 detik)	SNI 06-2456-1991	80	99	84,75	0,1 mm	4 (hal 80)
2. Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	46	54	48	°C	5 (hal 86)
3. Titik Nyala	SNI 06-2433-1991	225	-	320	°C	6 (hal 92)
4. Daktilitas (25°C, 5 cm /	SNI 06-2432-1991	100	-	122	Cm	7 (hal 98)
5. Berat jenis (25°C)	SNI 06-2488-1991	1	-	1,07	-	8 (hal 104)

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Aspal + 2% Karet

Jenis Pemeriksaan	Standar uji	Persyaratan Pen 80		Hasil Pengujian	Satuan	Lampiran
		min	max			
1. Penetrasi (25°C, 5 detik)	SNI 06-2456-1991	80	99	83,75	0,1 mm	4 (hal 81)
2. Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	46	54	51	°C	5 (hal 87)
3. Titik Nyala	SNI 06-2433-1991	225	-	315	°C	6 (hal 93)
4. Daktilitas (25°C, 5 cm /	SNI 06-2432-1991	100	-	113	Cm	7 (hal 99)
5. Berat jenis (25°C)	SNI 06-2488-1991	1	-	1,08	-	8 (hal 105)

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Aspal + 3% Karet

Jenis Pemeriksaan	Standar uji	Persyaratan Pen 80		Hasil Pengujian	Satuan	Lampiran
		min	max			
1. Penetrasi (25°C, 5 detik)	SNI 06-2456-1991	80	99	82	0,1 mm	4 (hal 82)
2. Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	46	54	52	°C	5 (hal 88)
3. Titik Nyala	SNI 06-2433-1991	225	-	310	°C	6 (hal 94)
4. Daktilitas (25°C, 5 cm / jenis)	SNI 06-2432-1991	100	-	107,5	Cm	7 (hal 100)
5. Berat jenis (25°C)	SNI 06-2488-1991	1	-	1,09	-	8 (hal 106)

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Aspal + 4% Karet

Jenis Pemeriksaan	Standar uji	Persyaratan Pen 80		Hasil Pengujian	Satuan	Lampiran
		min	max			
1. Penetrasi (25°C, 5 detik)	SNI 06-2456-1991	80	99	80	0,1 mm	4 (hal 83)
2. Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	46	54	54	°C	5 (hal 89)
3. Titik Nyala	SNI 06-2433-1991	225	-	300	°C	6 (hal 95)
4. Daktilitas (25°C, 5 cm / jenis)	SNI 06-2432-1991	100	-	102,2	Cm	7 (hal 101)
5. Berat jenis (25°C)	SNI 06-2488-1991	1	-	1,1	-	8 (hal 107)

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Aspal + 5% Karet

Jenis Pemeriksaan	Standar uji	Persyaratan		Hasil Pengujian	Satuan	Lampiran
		Pen 80 min	Max			
1. Penetrasi (25°C, 5 detik)	SNI 06-2456-1991	80	99	79,25	0,1 mm	4 (hal 84)
2. Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	46	54	56	°C	5 (hal 90)
3. Titik Nyala	SNI 06-2433-1991	225	-	295	°C	6 (hal 96)
4. Daktilitas (25°C, 5 cm /	SNI 06-2432-1991	100	-	80,3	Cm	7 (hal 102)
5. Berat jenis (25°C)	SNI 06-2488-1991	1	-	1,11	-	8 (hal 108)

4.1.2 Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar menggunakan batu pecah yang sudah tersedia di Laboratorium Jalan Balai Irigasi Bekasi. Tabel 4.7 berikut menunjukkan hasil uji pendahuluan terhadap agregat kasar.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Jenis	Standar	Persyaratan		Hasil Pengujian	Lampiran
		Min	Maks		
Agregat Kasar					
Penyerapan	SNI-03-1969-2008	-	3%	2,41%	9
Berat Jenis	SNI-03-1969-2008	2,5	-	2,54	9
Keausan Agregat	SNI-03-2417-1991	-	40%	26,8%	10

Dari hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi syarat sebagai bahan penyusun lapis perkerasan.

4.1.3 Pengujian Agregat Halus

Agregat halus pada penelitian ini menggunakan pasir gunung yang sudah disediakan oleh pihak laboratorium Balai Irigasi. Sedangkan hasil pengujian penyerapan air, berat jenis, dan kadar lumpur agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.8 di bawah ini:

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis	Standar	Persyaratan		Hasil	Lampiran
		Min	Maks		
Agregat Halus					
Penyerapan air	SNI-03-1970-2008		3%	1,53%	11
Berat jenis	SNI-03-1970-2008	2.5		2,52	11
Kadar Lumpur	SNI-03-1970-2008		4%	3,76%	12

4.1.4 Pengujian *Filler*

Bahan pengisi (*filler*) menggunakan semen OPC merek Tiga Roda dari PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. jenis I yang sudah memenuhi SNI 15-2049-2004. Uji pendahuluan untuk bahan filler hanya menguji berat jenis dan analisa saringan, berat jenis yang diperoleh sebesar 3,12 dan 96% persen lolos saringan no.200.

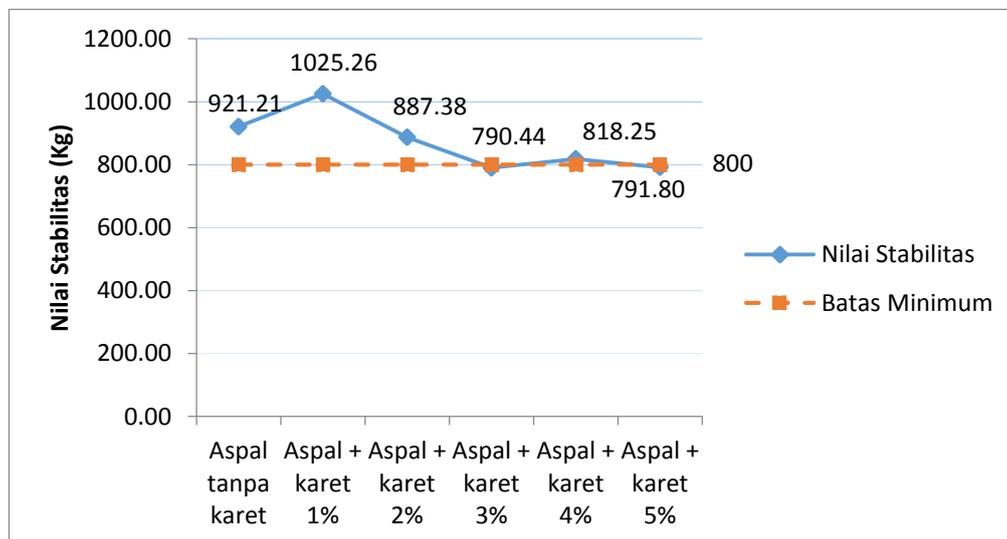
4.2 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji meliputi perencanaan campuran, pencampuran bahan pembuatan benda uji, pemadatan benda uji, dan perendaman benda uji. Setelah itu barulah kita dapat melakukan pengujian *Marshall*.

4.3 Pembahasan Hasil Pengujian

4.3.1 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur atau *bleeding*. Spesifikasi umum menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.28/PRT/M/2007 menetapkan bahwa stabilitas minimum yang disyaratkan adalah 800 kg. Hubungan antara kadar aspal dengan nilai stabilitas dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini :



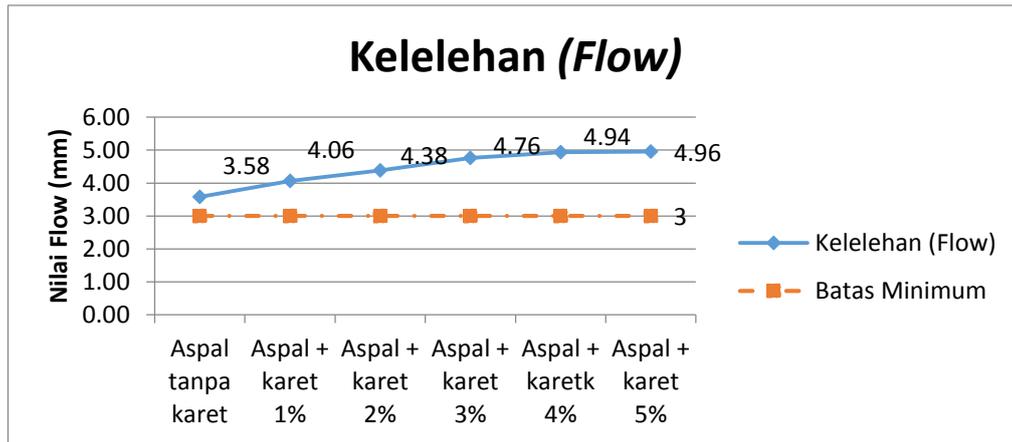
Gambar 4.1 Grafik Stabilitas

Dari grafik diatas terlihat bahwa nilai stabilitas yang memenuhi persyaratan lalu-lintas berat berada pada kadar penambahan karet 1%, 2%, dan 4% . Pada kadar 1% nilai stabilitas paling tinggi diantara persentase penambahan kadar karet. Penambahan karet pada persentase 1% meningkatkan nilai stabilitas dari campuran aspal. Penambahan kadar karet dengan persentase 2% - 5% menurunkan stabilitas dibandingkan dengan aspal tanpa penambahan karet.

Dari hasil percobaan menunjukkan bahwa 1% meningkat seiring meningkatnya titik lembek aspal akibat penambahan karet ban-dalam yang otomatis menurunkan nilai penetrasi aspal. Nilai stabilitas campuran AC-WC dengan tambahan karet ban-dalam yang terlalu banyak cenderung menurun dikarenakan titik lembek dari campuran aspal menurun dan aspal sifatnya menjadi terlalu plastis, sehingga mudah mengalami deformasi. Akibatnya perkerasan menjadi lunak dan kurang mampu mendukung beban.

4.3.2 Kelelehan (*flow*)

Kelelehan adalah besarnya deformasi vertikal benda uji yang terjadi mulai saat awal pembebanan sampai kondisi kestabilan muai menurun. Nilai *flow* menyatakan besarnya deformasi pada benda uji, campuran yang mempunyai nilai *flow* tinggi cenderung menghasilkan campuran yang plastis sehingga akan mudah berubah bentuk (deformasi plastis) apabila terkena beban lalu-lintas tinggi dan berat. Sebaliknya, apabila campuran memiliki *flow* terlalu rendah maka campuran akan bersifat kaku dan getas, hingga mudah retak akibat beban lalu-lintas yang tinggi dan berat. Hubungan antara variasi kadar aditif dengan nilai *flow* dapat dilihat pada Gambar 4.2 di bawah ini :

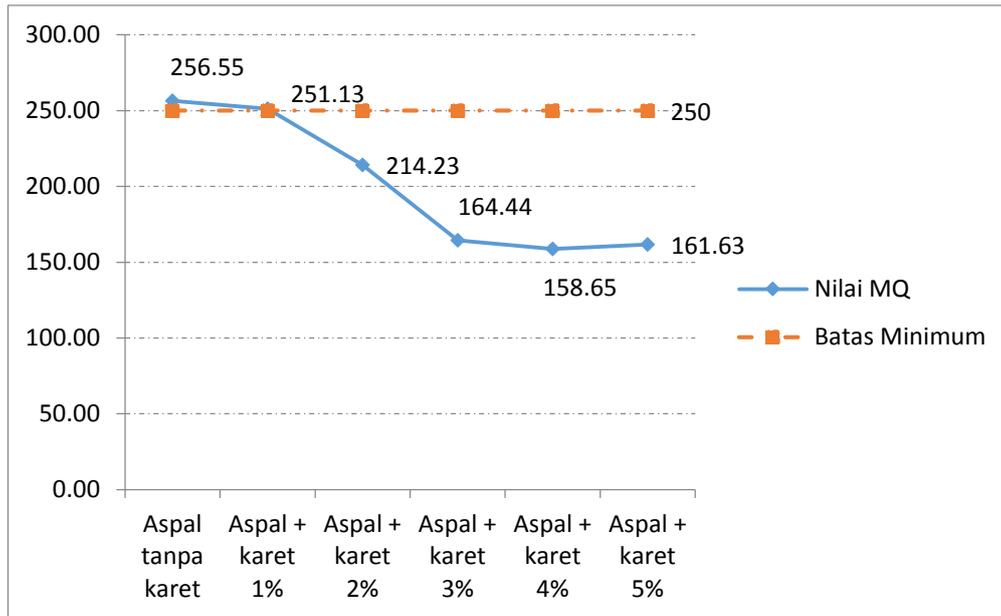


Gambar 4.2 Grafik Nilai Kelelehan (Flow)

Dari grafik diatas dapat dilihat dari campuran aspal tanpa penambahan karet dan ditambah kadar karet 1% - 5% memenuhi standar minimal untuk spesifikasi lalu lintas berat yaitu diatas 3 mm. Aspal dengan penambahan aditif karet menunjukkan nilai *flow* semakin naik seiring dengan bertambahnya bahan tambah, hal ini disebabkan dengan bertambahnya kadar aditif maka campuran akan semakin plastis dan semakin mudah berdeformasi.

4.3.3 Marshall Quotient (MQ)

MQ mengindikasikan pendekatan terhadap kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran aspal beton. Campuran yang memiliki nilai MQ rendah akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami deformasi pada saat menerima beban lalu-lintas yang tinggi dan berat. Sedangkan campuran yang memiliki nilai MQ tinggi akan bersifat kaku dan getas. Hubungan antara variasi kadar aditif dengan nilai *Marshall Quotient* dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut ini:



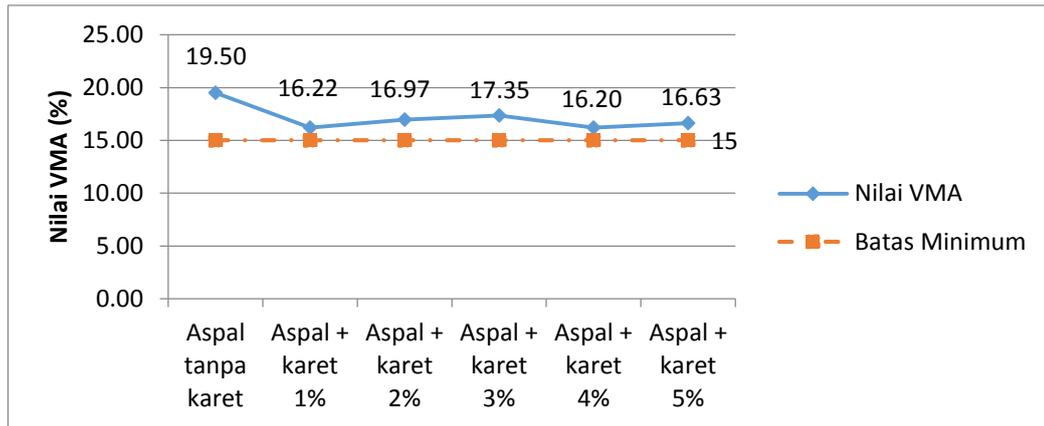
Gambar 4.3 Grafik Nilai *marshall Qoutient* (MQ)

Dari grafik di atas terlihat bahwa nilai MQ pada kadar penambahan karet 1% memenuhi persyaratan minimal 250 kg/mm untuk lalu-lintas berat. Nilai MQ pada penambahan karet 1% - 5% menurun dibandingkan dengan aspal tanpa penambahan karet.

Dari percobaan di atas terlihat hasil bagi dari stabilitas yang kecil dengan flow yang besar membuat nilai *Marshall Quotient* menjadi kecil, sehingga campuran aspal mudah mengalami deformasi pada saat menerima beban lalu-lintas yang tinggi dan berat.

4.3.4 Void in Mineral Aggregate (VMA)

Besarnya nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi agregat dan temperatur pemadatan. Hubungan antara kadar karet dengan VMA dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini.



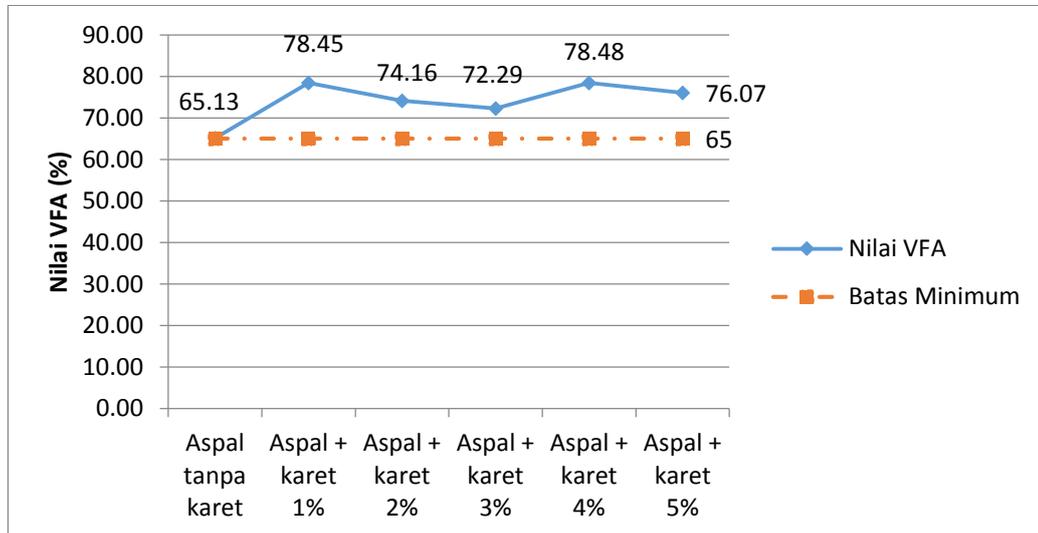
Gambar 4.4 Grafik Nilai VMA

Dari grafik di atas terlihat bahwa nilai VMA optimum berada pada aspal tanpa penambahan karet. Nilai VMA tertinggi penambahan bahan aditif aspal pada persentase 3% karet ban-dalam. Akan tetapi nilai VMA dari semua variasi penambahan bahan aditif memenuhi persyaratan untuk lalu lintas berat dengan nilai minimum 15% untuk Laston AC-WC. Hal itu disebabkan karena gradasi antar butirnya memenuhi kriteria gradasi menerus atau rapat, sehingga menghasilkan nilai VMA yang memenuhi persyaratan. Perubahan nilai VMA disebabkan oleh penambahan kadar karet.

4.3.5 Void Filled with Asphalt (VFA)

Nilai VFA (*Void Filled with Asphalt*) menunjukkan persentase besarnya rongga yang dapat terisi oleh aspal. Besarnya VFA menentukan keawetan suatu campuran beraspal panas, semakin besar nilai VFA maka akan semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran terhadap air dan udara juga semakin tinggi, tetapi nilai VFA yang terlalu kecil akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara karena lapisan *film* akan menjadi tipis dan akan mudah retak bila menerima penambahan beban..

Hubungan antara variasi kadar karet dengan nilai VFA dapat dilihat pada Gambar 4.5 di bawah ini :



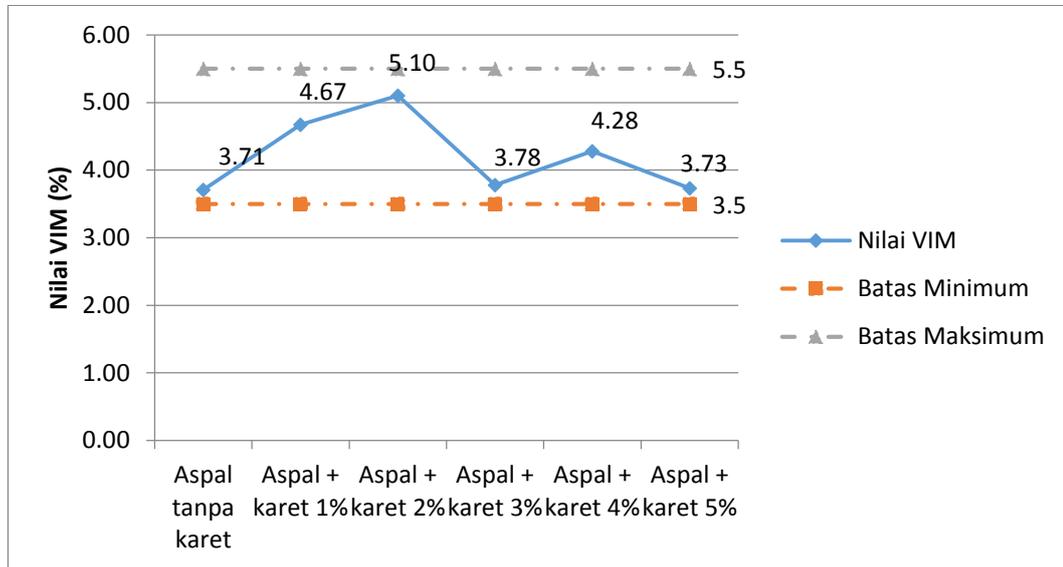
Gambar 4.5 Grafik Nilai VFA

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai VFA pada aspal tanpa ditambah karet maupun ditambah dengan karet dengan variasi 1% - 5% memenuhi standar untuk lalu lintas berat sebesar 65%. Nilai VFA naik seiring dengan bertambahnya kadar karet ban-dalam sebagai bahan aditif karet jika dibandingkan dengan nilai lapis aspal beton tanpa penambahan bahan tambah. Nilai VFA terbesar pada kadar 4% penambahan bahan tambah karet ban-dalam sebesar 78.475%. Dari hasil percobaan menunjukkan bahwa dengan masuknya karet sebagai bahan tambah ke dalam campuran aspal AC-WC, kedekatan terhadap air dan udara semakin baik.

4.3.6 Void In the Mix (VIM)

VIM disebut juga sebagai rongga dalam campuran. Semakin besar nilai VIM, maka semakin berkurang kedekatan airnya, sehingga dapat mempercepat penuaan aspal. Sedangkan semakin kecil nilai VIM akan menyebabkan perkerasan

mengalami *bleeding*. Hubungan antara kadar karet dengan nilai VIM dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut ini :



Gambar 4.6 Grafik Nilai VIM

Dari gambar 4.6 di atas, nilai VIM pada aspal tanpa ditambah dengan karet ban dalam kendaraan dan yang ditambah dengan kadar karet 1%-5% memenuhi standar lalu lintas berat 3,5 - 5,5%.

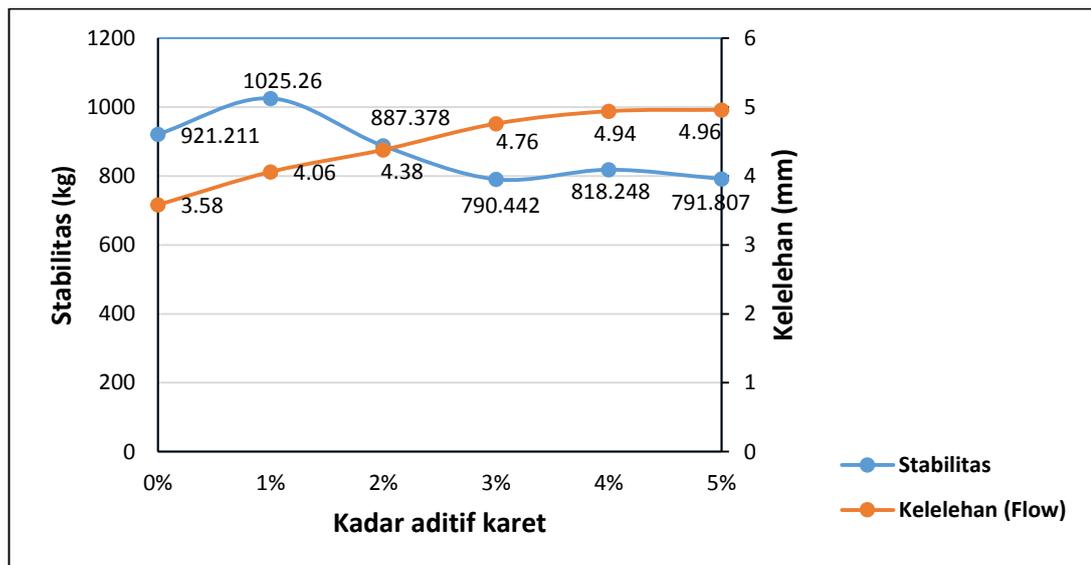
4.4 Pembahasan Keseluruhan Hasil Penelitian

Pada Tabel 4.9 dapat dilihat bahwa nilai optimum dengan penambahan limbah karet ban dalam kendaraan terdapat pada kadar 1%. Hal ini disebabkan dengan penambahan limbah karet ban-dalam sebesar 1% terhadap aspal memenuhi semua parameter uji *Marshall* yang di syartkan oleh spesifikasi umum menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.28/PRT/M/2007 untuk kelas jalan I.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Marshall

No	Karakteristik	Syarat	Presentase Kadar Karet (%)					
			0%	1%	2%	3%	4%	5%
1	Stabilitas (kg)	Min 800	921.211	1025.26	887.378	790.442	818.248	791.807
2	Kelelahan (mm)	Min 3	3.58	4.06	4.38	4.76	4.94	4.96
3	MQ (kg/mm)	Min 250	256.548	252.313	205.994	166.679	165.617	161.633
4	VMA (%)	Min 15	19.508	16.22	16.978	17.353	16.206	16.638
5	VFA (%)	Min 65	65.133	78.447	74.164	72.29	78.475	76.069
6	VIM (%)	3,5-5,5	3.711	4.671	5.101	3.784	4.281	3.733

Keterangan : 1% aditif karet ban-dalam memenuhi persyaratan spesifikasi umum menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.28/PRT/M/2007.



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Variasi Sampel Uji Dengan Nilai Stabilitas dan Kelelahan

Dari Gambar tersebut, dapat dilihat bahwa dari hasil keseluruhan penelitian, penambahan kadar limbah ban bekas pada campuran lapis aus permukaan aspal beton (Laston), menghasilkan Laston yang makin turun stabilitasnya dan makin

meningkat kelelehannya. Berdasarkan teori, campuran yang memiliki angka kelelehan yang tinggi dan stabilitas yang rendah cenderung menjadi plasti serta mudah berubah bentuk apabila mendapat beban lalu lintaas. Maka dapat dikatakan bahwa penentuan kadar/ persentase limbah karet ban bekas dengan campuran Laston harus disesuaikan dengan kelas jalan yang disasar agar tidak terjadi kesalahan hasil yang di rencanakan.

4.5 Keterbatasan Penelitian

Peneliti dalam penelitian ini mengakui banyak keterbatasan penelitian yang di antaranya adalah:

1. Penelitian ini hanya menguji stabilitas dan fleksibilitas beton aspal, tidak menguji durabilitas, workabilitas, dan ketahanan pada beton aspal.
2. Penelitian menggunakan timbangan manual dimana bisa terjadi kesalahan pengukuran.
3. Terdapat campuran beton aspal yang tertinggal pada mixer karena terlalu lengket dan sulit untuk dikeruk sehingga mengurangi berat campuran untuk benda uji. Berat campuran benda uji yang berkurang dapat mengurangi berat isi, berat jenuh dan keseluruhan hasil penelitian
4. Penelitian ini hanya membandingkan hasil uji di laboratorium dengan persyaratan yang sudah ada.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil pengujian *Marshall* yang telah dilakukan pada campuran aspal beton lapis aus permukaan (AC-WC) dengan menggunakan limbah karet ban dalam kendaraan sebagai bahan aditif dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai stabilitas, kelelahan, *Marshall Quotient* (MQ), *Void Filled with Asphalt* (VFA), *Void in Mineral Aggregates* (VMA), dan *Void In the Mix* (VIM) pada aditif karet 1% memenuhi persyaratan parameter *Marshall* untuk lalu-lintas berat yang tercantum pada spesifikasi umum menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.28/PRT/M/2007.
2. Pada penambahan karet ban-dalam sebesar 2% dan 4%, hanya nilai *Marshall Quotient* (MQ) yang tidak memenuhi persyaratan parameter *marshall* untuk lalu-lintas berat.
3. Nilai kelelahan, *Void in Mineral Aggregates* (VMA), *Void Filled with Bitumen* (VFB), dan *Void In the Mix* (VIM) pada penambahan karet ban-dalam 3% dan 5% memenuhi persyaratan parameter *marshall* untuk lalu-lintas berat. Nilai stabilitas dan *Marshall Quotient* (MQ) yang tidak memenuhi persyaratan parameter *marshall* untuk lalu-lintas berat.
4. Modifikasi aspal dengan bahan tambah limbah karet ban dalam kendaraan berpengaruh secara positif, hal ini dapat dilihat pada nilai stabilitas *Marshall* pada aspal tanpa menggunakan bahan tambah karet ban-dalam sebesar 921,211

kg. Pada *aditif* dengan kadar 1% meningkatkan stabilitas *Marshall* sebesar 1025,26 kg.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, peneliti dapat menyarankan hal-hal berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan bahan aditif yang lain, baik jenis limbah polimer, elastomer maupun bahan limbah lainnya.
2. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan variasi kadar aspal dengan persentase yang berbeda.

DAFTAR PUSATAKA

- AASHTO T245-90. (t.thn.). *Worksheet For A Marshall Mix Design*.
- Amiruddin, A. A., Sasmita, S. A. A., Ali, N., & Renta, I. (2012), *Kajian Eksperimental Campuran HRS-WC Dengan Aspal Minyak dan Penambahan Aditif Lateks Sebagai Bahan Pengikat*. Universitas Hasanuddin Makassar. *jurnal*
- ASTM D 1559-76. (t.thn.). Resistance to Plastic Flow of Bituminous Using Marshall Apparatus.
- ASTM D6927. (t.thn.). Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures.
- BPS. (2015). Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis. www.bps.go.id/linktabledinamis/view/id/1133. [3 April 2017]
- Darunifah, N. (2007). *Pengaruh Bahan Tambah Karet Padat Terhadap Karakteristik Campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)*. Universitas Diponegoro Semarang. *Thesis*
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (1983). *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (FLEXIBLE) (AC-WC)*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- DPU. (1987). *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponens, SKBI-2.3.26.1987, UDC: 625.73(02)*. Jakarta. Yayasan Badan Penerbit PU.
- DPU. (2013). Indonesia Butuh Aspal 1,2 Juta Tol Setiap Tahun. www.pu.go.id/berita/8980/indonesia-butuh-aspal-1,2-juta-tol-setiap-tahun. [12 November 2016]
- Lololaen, B. S. (2014). *Pengaruh Penambahan Karet Ban-Dalam Bekas Sebagai Bahan Tambah Terhadap Sifat Marshall HRA (Hot Rolled Asphalt)*. Universitas Atma Jaya Yogyakarta. *Thesis*
- Nurminah, M. 2002. *Penelitian Sifat Berbagai Bahan Kemasan Plastik dan Kertas Serta Pengaruhnya Terhadap Bahan Yang Dikemas*. Universitas Sumatera Utara. *Jurnal*
- Permen PU No.28/PRT/M/2007. *Pedoman Pelaksanaan Lapis Campuran Beraspal Panas*. DPU.
- RSNI M-06-2004. *Cara Uji Campuran Beraspal Panas*. Jakarta. DPU.

- SNI 03-1737-1989. *Tata Cara Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) untuk Jalan Raya*. Jakarta: BSN.
- SNI 03-4142-1996. *Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan nomor 200 (0,0075)*. Jakarta: BSN.
- SNI 03-1968-1990. *Metode Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar*. Jakarta: BSN.
- SNI 03-1969-1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air*. Jakarta: BSN.
- SNI 03-2834-2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta: BSN.
- SNI 03-1970-1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Jakarta: BSN.
- SNI 03-1971-1990. *Metode Pengujian Kadar Air Agregat*. Jakarta: BSN.
- SNI 15-2531-1991. *Metode Pengujian Berat Jenis Semen Portland*. Jakarta : BSN.
- SNI 03-4428-1997. *Metode Pengujian Agregat Halus atau Pasir Yang Mengandung Bahan Plastik Dengan Cara Setara Pasir*. Jakarta: BSN.
- SNI 15-2049-2004. *Semen Portland*. Jakarta: BSN.
- Suprpto. (2004). *Bahan Dan Struktur Jalan Raya Edisi Ketiga*. Yogyakarta. Biro Penerbit
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung. Nova.
- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung. Granit.