

**VARIASI SUHU PEMADATAN ASPAL TERHADAP
KARAKTERISTIK MARSHALL PADA LAPISAN ASPAL
BETON AC-WC DENGAN BAHAN TAMBAH LIMBAH
KARET BAN DALAM**

TUGAS AKHIR

**Karya Tulis Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Dari
Universitas Fajar**

Oleh

**DARWIN
1620121091**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

**VARIASI SUHU PEMADATAN ASPAL TERHADAP KARAKTERISTIK
MARSHALL PADA LAPISAN ASPAL BETON AC-WC DENGAN BAHAN
TAMBAH LIMBAH KARET BAN DALAM**

Oleh

**DARWIN
1620121091**

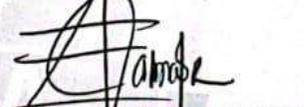
Menyetujui
Tim Pembimbing

Tanggal, 28 September, 2022

Pembimbing I


Dr. Erdawaty, ST., MT.
NIDN : 0921047802

Pembimbing II


Fatmawaty Rachim, ST., MT.
NIDN : 0919117903

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Fajar
Makassar,


Dr. Ir. Erniati, ST., MT
NIDN : 0906107701

Ketua Program Studi Teknik
Sipil Universitas Fajar
Makassar,


Fatmawaty Rachim, ST., MT.
NIDN : 0919117903

Pernyataan orisinalitas

Penulis dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul "Variasi Suhu Pemasakan Aspal Terhadap Karakteristik Marshall pada Lapisan Aspal Beton AC-WC Dengan Bahan Tambah Limbah Karet Ban Dalam" adalah karya orisinal saya dan setiap serta seluruh sumber acuan telah ditulis sesuai dengan panduan penulisan ilmiah yang berlaku di fakultas Teknik Universitas Vajar.

Makassar, 28 september 2022

Yang Menyatakan,

A 10,000 Rupiah postage stamp with a signature over it. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text "10000", "METER TEMPEL", and "71E18AKX060467845".

Darwin

ABSTRAK

Variasi Suhu Pemadatan Aspal Terhadap Karakteristik Marshall Pada Lapisan Aspal Beton AC-WC Dengan Bahan Tambah Limbah Karet Ban Dalam, Darwin. Suhu pemadatan merupakan faktor yang sangat penting dalam proses pemadatan karena mempengaruhi tingkat kepadatan campuran beton aspal. Dalam upaya meningkatkan kekuatan struktur perkerasan jalan perlu adanya penggunaan campuran aspal panas dengan pemilihan jenis material yang baik dapat pula memodifikasi dengan menggunakan bahan tambah sehingga diharapkan bisa meningkatkan kinerja campuran aspal, salah satu bahan yang dapat digunakan yaitu limbah karet ban dalam kendaraan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu pemadatan aspal terhadap karakteristik marshall pada lapisan aspal beton AC-WC dengan bahan tambah limbah karet ban dalam kendaraan dan Untuk mengetahui berapakah suhu pemadatan optimum pada campuran aspal beton AC-WC dengan penambahan limbah karet ban dalam pada aspal. Metode penelitian yang digunakan terdiri dari data sekunder, yang didapatkan dari membaca buku atau artikel ilmiah dan data primer yang didapatkan dari pemeriksaan sampel dilaboratorium. Dari hasil pengujian yang dilakukan terhadap pengaruh variasi suhu pemadatan aspal terhadap karakteristik marshall pada lapisan aspal beton AC-WC dengan bahan tambah limbah karet ban dalam kendaraan didapatkan bahwa semua variasi suhu pemadatan yaitu 90°C sampai dengan 150°C dengan penambahan karet ban dalam sebesar 4% memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Pada penelitian ini pengaruh suhu pemadatan sangatlah penting dalam proses pemadatan pada campuran aspal beton, karena akan sangat berpengaruh pada tingkat kepadatan campuran aspal beton yang selanjutnya akan mempengaruhi karakteristik beton aspal. bahan tambah limbah karet ban dalam juga sangat berpengaruh karena limbah karet ban dapat menambah perkuatan pada campuran aspal. Pada penelitian ini pengaruh terhadap bahan tambah limbah karet ban dalam sangat berpengaruh karena limbah karet ban dapat menambah perkuatan pada campuran aspal. suhu pemadatan optimum dengan penambahan limbah karet ban dalam yang didapatkan yaitu antara 110°C – 130°C dilihat dari hasil yang didapatkan dari pengujian karakteristik marshall.

Kata kunci: *Variasi Suhu Pemadatan, Karet Ban, Marshall*

ABSTRACT

The compaction temperature is a very important factor in the compaction process because it affects the density level of the asphalt concrete mixture. In an effort to increase the strength of the road pavement structure, it is necessary to use a hot asphalt mixture with a good selection of material types, which can also be modified by using added materials so that it is expected to improve the performance of the asphalt mixture, one of the materials that can be used is waste rubber tires in vehicles. This study was conducted to determine the effect of variations in asphalt compaction temperature on the marshall characteristics of the AC-WC asphalt concrete layer with the addition of waste rubber tires in the vehicle and to find out what the optimum compaction temperature is in the asphalt concrete AC-WC mixture with the addition of waste rubber inner tubes to the asphalt. . The research method used consisted of secondary data, obtained from reading books or scientific articles and primary data obtained from examining samples in the laboratory. From the results of the tests carried out on the effect of variations in asphalt compaction temperature on the characteristics of marshall in the asphalt concrete layer of AC-WC with added waste rubber tires in vehicles, it was found that all variations in compaction temperature, namely 90°C to 150°C with the addition of 4% inner tube rubber, met the specifications. Bina Marga 2018. In this study, the effect of compaction temperature is very important in the compaction process of the asphalt-concrete mixture, because it will greatly affect the density level of the asphalt-concrete mixture which in turn will affect the characteristics of the asphalt concrete. The added material for waste rubber in the inner tube is also very influential because waste rubber tires can add reinforcement to the asphalt mixture. In this study, the effect on the added material of inner tube rubber waste is very influential because tire rubber waste can add reinforcement to the asphalt mixture. The optimum compaction temperature with the addition of waste rubber inner tube obtained is 110°C - 130°C seen from the results obtained from the Marshall characteristic test.

Keywords: Variation of Compaction Temperature, Rubber Tires, Marshall.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan atas kehadiran Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga Tugas Akhir dengan judul **“VARIASI SUHU PEMADATAN ASPAL TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL PADA LAPISAN ASPAL BETON AC-WC DENGAN BAHAN TAMBAH LIMBAH KARET BAN DALAM ”** dapat diselesaikan.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan akademis dalam menyelesaikan studi Strata Satu (S1) pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Fajar Makassar.

Selama pembuatan Tugas Akhir ini, Penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, masukan-masukan, dan tuntunan dalam penulisan yang membuat tulisan ini menjadi lebih baik. Oleh karena itu, Penyusun ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua saya yang senantiasa memberikan kasih sayang yang tulus dan dukungan dari berbagai bentuk, baik dalam bentuk materi bahkan non-materi yang tak terhingga nilainya. Serta kepada seluruh keluarga yang juga turut berperan dalam penulisan proposal penelitian ini.
2. Dr. Erdawaty, S.T.,M.T. selaku pembimbing I dan Fatmawaty Rachim,S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil yang kebetulan sebagai pembimbing II yang senantiasa tak henti-hentinya membimbing penulis dalam penyusunan Proposal Tugas akhir ini.
3. Dr.Ir. Erniati,.ST,.MT. selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Fajar Makassar
4. Saudara seangkatan Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Angkatan 2016.
5. Serta seluruh pihak yang telah berkenan membantu dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.

Dengan ini penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari berbagai pihak, guna kesempurnaan penyusunan Proposal Tugas Akhir ini.

Akhir kata semoga semua bantuan dan amal baik tersebut mendapatkan limpahan berkah dan anugerah dari Allah SWT. Amin.

Makassar, 28 September 2022

Darwin

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
Pernyataan orisinalitas	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
II.1 Aspal Beton AC-WC (<i>Asphalt Concrete – Wearing Course</i>)	5
II.1.1 Pengertian Aspal Beton	5
II.1.2 Jenis Aspal Beton	5
II.1.3 Karakteristik Aspal Beton	6
II.1.4 Lapisan Aspal Beton	8
II.2 Material Penyusun Campuran Aspal Beton AC-WC	11
II.2.1 Agregat	11
II.2.2 Bahan Pengisi (Filler)	17
II.2.3 Spesifikasi Gradasi Filler	18
II.2.4 Gradasi Agregat	19
II.2.5 Aspal	21
II.3 Limbah Karet Ban Dalam Kendaraan	29
II.3.1 Pengertian	29
II.3.2 Kandungan Ban Dalam Bekas Kendaraan	29
II.3.3 Karakteristik Ban Dalam Bekas Kendaraan	29
II.4 Perencanaan Campuran	30
II.5 Karakteristik Campuran Pada Pengujian Marshall Test	31
II.5.1 Stabilitas (<i>Stability</i>)	31
II.5.2 Kelelehan (<i>Flow</i>)	32

II.5.3 Kerapatan (<i>Density</i>)	32
II.5.4 Rongga Udara (<i>VIM</i>).....	32
II.5.5 Rongga Antar Agregat (<i>VMA</i>).....	33
II.5.6 Rongga Terisi Aspal (<i>VFA</i>).....	34
II.5.7 Marshall Quotient (<i>MQ</i>).....	34
II.6 Penelitian Terdahulu	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	38
III.1 Waktu Dan Lokasi.....	38
III.2 Alat Dan Bahan	38
III.2.1 Alat	38
III.2.2 Bahan	39
III.3 Pelaksanaan Penelitian	40
III.3.1 Prosedur Pelaksanaan Penelitian	40
III.3.2 Tahap Penelitian Pemeriksaan Bahan/Material.....	40
III.3.3 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Dan Bahan Tambah Karet Ban Dalam	41
III.3.4 Pembuatan Benda Uji	41
III.3.5 Pengujian Benda Uji	43
III.4 Analisa Data.....	44
III.5 Bagan Alir Penelitian	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	46
IV.1 Sifat-sifat Agregat	46
IV.1.1 Sifat Fisik Agregat Kasar.....	46
IV.1.2 Sifat Fisik Agregat Halus.....	47
IV.1.3 Sifat Fisik Aspal.....	47
IV.2 Gradasi Penggabungan Agregat.....	48
IV.2.1 Komposisi Campuran	49
IV.3 Pengujian Marshall	50
IV.3.1 Pengaruh Suhu Pemasatan Terhadap Rongga Udara (<i>VIM</i>) Dengan Penambahan Karet Ban Dalam.	50
IV.3.2 Pengaruh Suhu Pemasatan Terhadap Rongga Diantara Agregat (<i>VMA</i>) Dengan Penambahan Karet Ban Dalam.	51
IV.3.3 Pengaruh Suhu Pemasatan Terhadap Rongga terisi Aspal (<i>VFA</i>) Dengan Penambahan Karet Ban Dalam.	52
IV.3.4 Pengaruh Suhu Pemasatan Terhadap Kerapatan (<i>Density</i>) Dengan Penambahan Karet Ban Dalam.	53

IV.3.5 Pengaruh Suhu Pemasatan Terhadap Stabilitas (<i>stability</i>) Dengan Penambahan Karet Ban Dalam.	54
IV.3.6 Pengaruh Suhu Pemasatan Terhadap Kelelahan (<i>Flow</i>) Dengan Penambahan Karet Ban Dalam.	55
IV.3.7 Pengaruh Suhu Pemasatan Terhadap MQ (<i>Marshall Quotient</i>) Dengan Penambahan Karet Ban Dalam.	56
IV.3.8 Pengaruh Suhu Pemasatan dengan Penambahan Karet Ban Dalam Terhadap Karakteristik Campuran Aspal	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	58
V.1 Kesimpulan	58
V.2 Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	61

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Lapis Aspal Beton.....	10
Tabel II.2 Spesifikasi Agregat Halus.....	15
Tabel II.3 Gradasi Agregat Kasar Yang Diisyaratkan.....	16
Tabel II.4 Persyaratan Agregat Kasar.....	17
Tabel II.5 Gradasi Filler.....	18
Tabel II.6 Spesifikasi Gradasi Agregat Gabungan.....	20
Tabel II.7 Spesifikasi Aspal Keras.....	23
Tabel II.8 Persyaratan Aspal Pen 60/70.....	23
Tabel III.1 jumlah Benda Uji.....	42
Tabel IV.1 Sifat-sifat Fisik Agregat Kasar (Kerikil).....	45
Tabel IV.2 Sifat-sifat Fisik Agregat Halus.....	46
Tabel IV.3 Sifat-sifat Fisik Aspal.....	46
Tabel IV.4 Gradasi Penggabungan Agregat.....	47
Tabel IV.5 Komposisi Campuran.....	48
Tabel IV.6 Parameter Marshall Spesifikasi Bina Marga.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Penyebaran Beban Roda Melalui Lapisan Perkerasan.....	9
Gambar II.2 Struktur Perkerasan Lentur.....	9
Gambar II.3 Gradasi Agregat.....	20
Gambar III.4 Bagan Alir Penelitian.....	44
Gambar IV.1 Gradasi Gabungan Agregat.....	48
Gambar IV.2 Pengaruh Suhu Pemadatan Terhadap VIM dengan Penambahan Karet Ban dalam.....	50
Gambar IV.3 Pengaruh Suhu Pemadatan Terhadap VMA dengan Penambahan Karet Ban Dalam.....	50
Gambar IV.4 Pengaruh Suhu Pemadatan Terhadap VFA dengan Penambahan Karet Ban Dalam.....	51
Gambar IV.5 Pengaruh Suhu Pemadatan Terhadap Density dengan Penambahan Karet Ban Dalam.....	52
Gambar IV.6 Pengaruh Suhu Pemadatan terhadap Stability Dengan Penambahan Karet Ban Dalam.....	53
Gambar IV.7 Pengaruh Suhu Pemadatan Terhadap Flow dengan Penambahan Karet Ban Dalam.....	54
Gambar IV.8 Pengaruh Suhu Pemadatan Terhadap Marshall Quotient dengan Penambahan Karet ban Dalam.....	55
Gambar IV.9 Suhu Pemadatan Optimal dengan Penambahan Karet Ban Dalam.....	56

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis & Penyerapan Agregat Kasar (split 0,5-1).....	60
Lampiran 2 Pemeriksaan Berat Jenis & Penyerapan Agregat Kasar (split 1-2).....	61
Lampiran 3 Pemeriksaan Keausan (Split 0,5-1).....	62
Lampiran 4 Pemeriksaan Keausan (split 1-2).....	63
Lampiran 5 Pemeriksaan Sand Equipalent.....	64
Lampiran 6 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar (Split 0,5-1).....	66
Lampiran 7 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar (Split 1-2).....	67
Lampiran 8 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus.....	68
Lampiran 9 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Keras.....	69
Lampiran 10 Pemeriksaan Titik Lembek.....	70
Lampiran 11 Pemeriksaan Titik Nyala & Titik Bakar Aspal Keras.....	71
Lampiran 12 Pemeriksaan Daktelitas.....	72
Lampiran 13 Pemeriksaan Penetrasi Aspal.....	73
Lampiran 14 Tabel Perhitungan Marshall Test.....	74
Lampiran 15 Grafik Marshall.....	75

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Transportasi ialah salah satu pendukung dalam pertumbuhan Negara Indonesia. Penyediaan fasilitas serta prasarana transportasi darat dalam perihal ini merupakan jalur raya yang sangat diperlukan untuk mendukung kemajuan suatu bangsa. Jalanan memegang peranan berarti dalam kehidupan, oleh sebab itu pembangunan serta pemeliharannya wajib amat dicermati. Pada kenyataannya banyak ditemui jalan-jalan yang kurang memenuhi syarat atau kualitas aspal yang rendah, sehinggah mudah rusak karena kurang mampu menahan beban, gesekan, cuaca, dan lain-lain.

Beberapa faktor penyebab kerusakan jalan adalah efek air, kendaraan kelebihan beban, aplikasi konstruksi perkerasan yang tidak memenuhi teknis, proses pemadatan campuran beraspal yang dilakukan dilapangan pada temperatur yang tidak tepat dan tidak sesuai dengan yang disyaratkan, sehingga akan mempengaruhi karakteristik campuran beton aspal. Suhu pemadatan merupakan faktor yang sangat penting dalam proses pemadatan karena mempengaruhi tingkat kepadatan campuran beton aspal.

Dalam upaya meningkatkan kekuatan struktur perkerasan jalan perlu adanya penggunaan campuran aspal panas dengan pemilihan jenis material yang baik dapat pula memodifikasi dengan menggunakan bahan tambah sehingga diharapkan bisa meningkatkan kinerja campuran aspal, salah satu bahan yang dapat digunakan yaitu limbah karet ban dalam kendaraan.

Limbah karet ban dalam kendaraan adalah karet alam yang telah melewati proses pabrikasi dan sudah melewati penambahan campuran-campuran tertentu kemudian dicetak dalam bentuk ban dalam untuk kendaraan bermotor. Ban dalam bekas kendaraan bermotor berasal dari berbagai bahan seperti karet alam, karet sintetik, bahan kimia, karbon hitam dan minyak tertentu. Sifat-sifat karet sendiri adalah kuat dan lentur atau elastis. Sisa-sisa ban dalam kendaraan ini bisa digunakan sebagai bahan tambah untuk campuran laston. Diharapkan dengan

menambahkan campuran limbah karet ban dalam untuk konstruksi perkerasan jalan pada campuran aspal dapat memberikan banyak keuntungan, diantaranya permukaan perkerasan menjadi lebih tahan lama, tahan terhadap retakan akibat lendutan yang berlebihan serta retakan akibat kelelahan bahan, meningkatkan daya cengkram akibat pengereman serta mengurangi kebisingan akibat gesekan ban roda dengan permukaan perkerasan. Pada hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa limbah karet ban dalam kendaraan bermotor dapat menahan beban tanpa terjadi bleeding, keawetannya meningkat, elastisitas meningkat dan semakin fleksibel.

Panjaitan R,(2021), Mengatakan kalau pengaruh dari limbah ban dalam sisa kendaraan terhadap ciri aspal dengan memakai pengujian marshall yang memakai bahan tambah limbah ban dalam sisa kendaraan ialah 0%, 2%, 4%, serta 6% tiap- tiap terbuat sebanyak 3 benda uji. Periset melaksanakan eksperimen terhadap variabel terikat ialah ciri marshall serta variabel leluasa ialah akumulasi serbuk karet ban dalam sisa kendaraan pada kombinasi AC- WC. Pengujian ini dicoba guna mengenali nilai dari VIM (Void in the mix), VMA (Void in Mineral Agregat), VFA (Void Filled With Asphalt), kelelahan (Flow), Stabilitas serta MQ (Marshall Quitient). Dari hasil riset kalau kandungan karet ban sisa dengan rentang 0% sampai 6% penuhi seluruh parameter marshall, kemudian rentang tersebut diambil nilai tengahnya serta didapatlah kandungan serbuk karet ban sisa optimumnya sebesar 4%.

Banyak riset yang dicoba terhadap aspal supaya memperoleh kombinasi yang mempunyai viskositas yang baik serta energi tahan lama.

Penulis dalam penelitian ini menambahkan limbah ban dalam kendaraan bermotor sebagai bahan tambah dengan kadar yang ditambahkan sebesar 4% untuk benda uji dengan variasi suhu 90°C, 110°C, 130°C, dan 150°C dan kadar aspal optimum 6%. Alasan peneliti menggunakan limbah karet ban dalam bekas kendaraan bermotor karena sifat karet sendiri yang kuat sehingga harapan peneliti dapat menaikkan nilai stabilitas (ketahanan) marshall.

Dari beberapa hal diatas, penulis berinisiatif untuk membuat tugas akhir dengan judul “*Variasi Suhu Pematatan aspal Terhadap Karakteristik Marshall*”

Pada Lapisan Aspal Beton AC-WC dengan Bahan Tambah Limbah Karet Ban Dalam”

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi suhu pemadatan terhadap karakteristik marshall pada campuran AC-WC dengan penambahan limbah karet ban dalam pada aspal?
2. Berapa suhu pemadatan optimum pada campuran aspal beton AC-WC dengan penambahan limbah karet ban dalam pada aspal?

I.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi suhu pemadatan terhadap karakteristik marshall pada campuran AC-WC dengan penambahan limbah karet ban dalam pada aspal.
2. Untuk mengetahui berapakah suhu pemadatan optimum pada campuran aspal beton AC-WC dengan penambahan limbah karet ban dalam pada aspal.

I.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat berjalan dengan baik dan lebih terarah maka perlu adanya batasan masalah, sehingga penelitian bersifat objektif, sistematis dan serta memberikan hasil sesuai apa yang diharapkan. Adapun batasan-batasan masalah yaitu;

1. Penelitian dilakukan di laboratorium Teknik Sipil Universitas Fajar Makassar.
2. Penelitian ini berdasarkan pada uji karakteristik marshall.
3. Perencanaan campuran yang dilakukan mengacu pada spesifikasi bina marga 2018.

4. Variasi suhu pemadatan yang digunakan yaitu 90°C, 110°C, 130°C, dan 150°C.
5. Kadar tambah limbah ban dalam kendaraan yang digunakan 4% dari berat total campuran
6. Menggunakan kadar aspal minyak sebesar 6% dengan penetrasi 60/70
7. Limbah karet ban dalam yang digunakan adalah ban dalam sepeda motor yang dipotong-potong menjadi bagian kecil dengan ukuran rata-rata 2.5 mm x 2.5 mm, kemudian dibakar sampai teksturnya menjadi lembek.
8. Agregat dan filler yang digunakan diperoleh dari proses pemecahan batu alam dari sungai bili-bili kab. Gowa.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Aspal Beton AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*)

II.1.1 Pengertian Aspal Beton

Aspal Beton (*Hot mix*) merupakan tipe perkerasan jalur yang terdiri dari kombinasi agregat, dengan ataupun tanpa bahan tambah. Material– material pembuat aspal beton dicampur di instalasi pencampur pada temperatur tertentu, setelah itu diangkut ke posisi, dihamparkan, serta dipadatkan. Temperatur pencampuran di tentukan bersumber pada tipe aspal apa saja yang hendak digunakan (Sukirman, 2003).

II.1.2 Jenis Aspal Beton

Jenis aspal beton dapat dibedakan berdasarkan suhu pencampuran material pembentuk aspal beton, dan fungsi aspal beton. Berdasarkan temperatur ketika mencampur dan memadatkan campuran, aspal beton dapat dibedakan atas :

1. Aspal beton campuran panas (*hotmix*), adalah aspal beton yang material pembentuknya dicampur pada suhu pencampuran sekitar 140°C.
2. Aspal beton campuran sedang (*warm mix*), adalah aspal beton yang material pembentuknya dicampur pada suhu pencampuran sekitar 60°C.
3. Aspal beton campuran dingin (*cold mix*), adalah aspal beton yang material pembentuknya dicampur pada suhu ruang sekitar 25°C.

Berdasarkan fungsinya aspal beton dapat dibedakan atas:

1. Aspal beton untuk lapisan aus (*wearing course*), adalah lapisan perkerasan yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan, merupakan lapisan yang kedap air, tahan terhadap cuaca, dan mempunyai kekesatan yang disyaratkan.
2. Aspal beton untuk lapisan pondasi (*binder course*), adalah lapisan perkerasan yang terletak dibawah lapisan aus. Tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi perlu memiliki stabilitas untuk memikul beban lalu lintas yang dilimpahkan melalui roda kendaraan.

3. Aspal beton pembentuk dan perata lapisan aspal beton yang sudah lama, yang pada umumnya sudah aus dan seringkali tidak lagi berbentuk crown.

II.1.3 Karakteristik Aspal Beton

Tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh aspal beton adalah stabilitas, keawetan atau durabilitas, kelenturan atau fleksibilitas, ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kekesatan permukaan atau ketahanan geser, kedap air, dan kemudahan pelaksanaan. Penjelasan mengenai ketujuh karakteristik tersebut di atas adalah sebagai berikut:

1. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan bleeding. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan, dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas yang tinggi. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas aspal beton adalah gesekan internal dan kohesi.

2. Durabilitas (*Durability*)

Durabilitas atau keawetan adalah kemampuan aspal beton menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur.

Durabilitas aspal beton dipengaruhi oleh tebalnya film atau selimut aspal, banyaknya pori dalam campuran, kemampatan dan kedap airnya campuran. Selimut aspal yang tebal akan membungkus agregat secara baik, aspal beton akan lebih kedap air, sehingga kemampuannya menahan keausan semakin baik.

3. Fleksibilitas (*Flexibility*)

Fleksibilitas atau kelenturan adalah kemampuan dari aspal beton untuk menyesuaikan diri akibat penurunan (konsolidasi/settlement) dan

pergerakan dari pondasi atau tanah dasar, tanpa terjadi retak. Penurunan akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli. Fleksibilitas dapat ditingkatkan dengan mempergunakan agregat yang bergradasi terbuka dengan kadar aspal yang tinggi.

4. Ketahanan terhadap kelelahan (*Fatigue resistance*)

Ketahanan terhadap kelelahan adalah suatu kemampuan dari aspal beton untuk menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat tercapai jika mempergunakan kadar aspal yang tinggi.

5. Kekesatan atau tahanan geser (*Skid resistance*)

Kekesatan atau tahanan geser adalah kemampuan permukaan aspal beton terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga roda kendaraan tidak tergelincir, ataupun slip. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal.

6. Kedap air (*Impermeable*)

Kedap air adalah kemampuan aspal beton untuk tidak dapat dimasuki oleh air ataupun kedalam lapisan aspal beton. Air dan udara dapat menyebabkan terjadinya percepatan proses penuaan aspal, dan pengelupasan film/selimut aspal dari permukaan agregat. Jumlah pori yang tersisa setelah aspal beton dipadatkan dapat menjadi indikator kekedapan air campuran. Tingkat impermiabiliti aspal Tingkat impermeabilitas aspal beton berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.

7. Mudah dilaksanakan (*Workability*)

Workability adalah kemampuan campuran aspal beton untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas aspal, kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur, dan gradasi serta kondisi agregat di mana untuk menghindari terjadinya

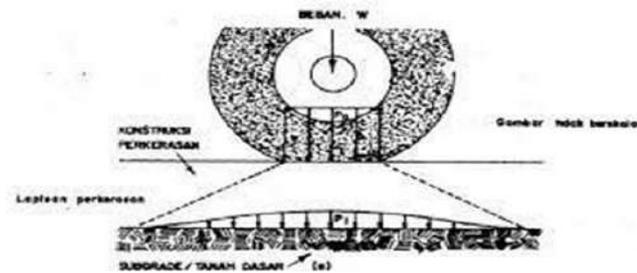
pemisahan dan ketidak kohesifan campuran dapat dilakukan dengan cara memperbaiki susunan campuran.

II.1.4 Lapisan Aspal Beton

Susunan Aspal Beton merupakan susunan pada konstruksi jalur raya, yang terdiri dari kombinasi aspal keras serta agregat yang bergradasi menerus(well graded) dicampur, dihamparkan serta dipadatkan dalam kondisi panas pada temperatur tertentu. Tipe agregat yang digunakan terdiri dari agregat agresif, agregat halus, serta filler, sebaliknya aspal yang digunakan selaku bahan pengikat buat lapis aspal beton wajib terdiri dari salah satu aspal keras penetrasi 40/ 50, 60/ 70 serta 80/ 100 yang seragam, tidak memiliki air apabila dipanaskan hingga temperatur 175°C tidak berbusa sertaenuhi persyaratan cocok dengan yang diresmikan. Pembuatan lapis aspal beton(laston) dimaksudkan buat memperoleh sesuatu susunan permukaan ataupun lapis antara(binder) pada perkerasan jalur yang sanggup membagikan sumbangan energi dukung yang terukur dan berperan selaku susunan kedap air yang bisa melindungi konstruksi dibawahnya. (Bina Marga, 1987).

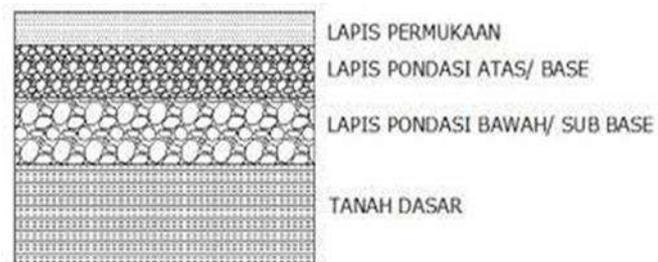
AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*) merupakan susunan aus yang ialah lapisan perkerasan yang ditempatkan sangat atas selaku lapis permukaan (*surface*). Persyaratan susunan ini (*surface*) kedap air, ialah susunan ini wajib bisa mengalirkan air ke tepi tubuh jalur. Watak kedap air ini buat melindungi lapis perkerasan yang terdapat dibawahnya supaya tidak kemasukan air. Apabila air bisa menyerap kedalam susunan bawahnya, hingga jalur hendak lekas rusak serta tidak hendak bertahan lama cocok dengan usia rencana. AC- WC ialah susunan perkerasan yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan, tahan terhadap cuaca, serta memiliki kekesatan yang disyaratkan dengan tebal nominal minimum 4 centimeter. Lapisan- lapisan tersebut berperan buat menerima beban kemudian lintas serta menyebarkan kelapisan dibawahnya berbentuk muatan kendaraan (*style vertikal*). *style rem (Horizontal)* serta pukulan Roda kendaraan (getaran). Karena sifat penyebaran beban, maka beban yang

diterima oleh masing-masing lapisan berbeda dan semakin kebawah semakin besar seperti pada gambar berikut :



Gambar II.1 Penyebaran Beban Roda Melalui Lapisan Perkerasan

Adapun struktur lapisan perkerasan jalan lentur yaitu :



Gambar II.2 Struktur Perkerasan Jalan Lentur

Menurut spesifikasi umum pekerjaan jalan bina marga tahun 2011, jenis campuran aspal beton terdiri dari :

1. Lapis Tipis Aspal Beton (*Hot Rolled Sheet, HRS*). Lapis Tipis Aspal Beton (Laston) yang selanjutnya disebut HRS, terdiri dari dua jenis campuran, HRS pondasi (HRS-Base) dan HRS Lapis Aus (HRS-*Wearing Course*, HRS-WC) dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran harus dirancang sampai memenuhi semua ketentuan yang diberikan dalam spesifikasi.
2. Lapis Aspal Beton (*Asphalt Concrete, AC*). Lapis Aspal Beton (Laston) yang selanjutnya disebut AC, terdiri dari tiga jenis campuran, AC lapis Aus (AC-WC), AC lapis antara (AC-*Binder course*, (AC-BC) dan AC lapis pondasi (AC-BC). Ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm, 37,5 mm. Setiap jenis campuran AC

yang menggunakan bahan Aspal Pollmer. Sedangkan laston sebagai lapis Aus (Wearing Course) adalah lapisan perkerasan yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan, merupakan lapisan yang kedap air, tahan terhadap cuaca, dan mempunyai kekesatan yang diisyaratkan dengan tebal nominal minimum 4 cm. Persyaratan yang harus dipenuhi oleh campuran aspal beton dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel II.1 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Lapis Aspal Beton

Sifat sifat campuran		Laston					
		Lapis Aus		Lapis Antara		Lapis Pondasi	
		Halus	Kasar	Halus	Kasar	Hls	kasar
Kadar aspal efektif (%)	Min.	5,1	4,3	4,3	4	4	3,5
Penyerapan aspal (%)	Maks.	1,2					
Jumlah tumbukan per bidang		75				112(3)	
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3					
	Maks.	5					
Rongga dalam Agregat (VMA)(%)	Min.	15		14		13	
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65					
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800				1800 ⁽³⁾	
Pelelehan (mm)	Min.	2				3	
	Maks.	4				6(3)	

<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	Min.	250	300
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min.	90	
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membel (refusal)	Min.	2	

Sumber : Dokumen Pelelangan Nasional Kementerian Pekerjaan Umum. Direktorat Jendral Bina Marga (2018)

II.2 Material Penyusun Campuran Aspal Beton AC-WC

Bahan utama penyusun perkerasan jalan adalah agregat, aspal, dan Aspal alami berupa Aspal Lawele. Sehingga untuk mendapatkan hasil yang baik dan berkualitas dalam menghasilkan perkerasan jalan, maka bahan-bahan tersebut harus memiliki kualitas yang baik pula. Secara umum bahan Aspal beton terdiri atas:

II.2.1 Agregat

Agregat adalah bahan penyusun utama dalam perkerasan jalan. Mutu dari agregat akan sangat menentukan mutu dari perkerasan yang akan dihasilkan pengawasan terhadap mutu agregat dapat dilakukan dengan pengujian di laboratorium. Secara umum agregat didefinisikan sebagai suatu bahan batu pecah, kerikil, pasir atau komposisi mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukura besar maupun kecil atau fragmen-fragmen yang merupakan bahan baku utama konstruksi perkerasan jalan. Agregat merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung

90%-95% berat campuran berdasarkan persentase atau 75%-85% agregat berdasarkan persentase volume.

Agregat memiliki peranan yang sangat berarti dalam prasarana transportasi, khususnya pada konstruksi perkerasan jalur serta energi dukung perkerasan jalur ditetapkan sebagian besar oleh ciri agregat yang digunakan. Dengan pemilihan agregat yang pas serta penuhi ketentuan hendak sangat memastikan keberhasilan konstruksi jalur.

Yang memastikan mutu agregat selaku material perkerasan jalur merupakan gradasi, kebersihan, kekerasan, ketahanan agregat, berat jenis, tekstur permukaan, wujud butiran, porositas, kemampuan buat meresap air, berat jenis serta energi kelekatan terhadap aspal.

Berdasarkan jenis dan ukuran butirannya agregat dibedakan menjadi agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (filler). Batasan dari masing – masing agregat ini seringkali berbeda, sesuai institusi yang menentukan.

Bentuk dan tekstur agregat mempunyai kestabilan dari lapisan perkerasan yang dibentuk oleh agregat tersebut. Karakteristik dari lapisan perkerasan dapat di pengaruhi dari bentuk dan tekstur dari agregat tersebut.

Sifat – sifat agregat yang sangat mempengaruhi kekuatan dan kualitas suatu campuran aspal diantaranya adalah :

1. Ukuran dan Gradasi Agregat (*Size and Grading*)

Gradasi ataupun distribusi partikel–partikel bersumber pada dimensi agregat sangat mempengaruhi pada besarnya rongga antar butiran yang hendak memastikan stabilitas serta kemudahan dalam proses penerapannya.

Tujuan dalam penerapan dimensi serta gradasi agregat antara lain:

- a. Dimensi agregat sangat terpaut dengan penerapan tebal penyebaran atau penghampanan yang dicoba dan tebalnya pemadatan.
- b. Gradasi sangat terkait dalam pelaksanaan pemadatan antara lain, kestabilan lapisan, kecepatan atau waktu pemadatan. Ukuran suatu agregat mempunyai pengaruh terhadap gesekan antara partikel, namun yang perlu diperhatikan bahwa ukuran maksimal bantuan di

dalam campuran harus lebih kecil atau sama dengan 75% tebal perkerasan.

2. Kebersihan (*Cleanliness*)

Agregat yang memiliki substansi asing merusak perkerasan semacam zat-zat organik, lempung serta yang lain wajib dihilangkan saat sebelum digunakan dalam kombinasi perkerasan, substansi ini akan menghalangi aspal terserap ke dalam pori-pori batuan, sehingga terjadi pengelupasan aspal dari agregat. California Division of Highways telah meningkatkan suatu metode untuk menentukan zat-zat merugikan tersebut dengan sand equivalent test.

3. Keausan dan kekerasan (*Toughness*)

Proses kerusakan agregat bisa diakibatkan oleh pengaruh cuaca, penerapan yang kurang baik dan pengaruh beban lalu lintas. Oleh sebab itu, agregat yang digunakan mesti layak tahan terhadap pemecahan (*crushed*), penyusutan kualitas (*degradation*) serta penghancuran (*disintegration*). Ketahanan agregat terhadap cuaca ataupun pengikisan bisa diukur ataupun ditetapkan dengan memakai mesin Los Angeles ataupun dengan uji penumbukan.

4. Teksut permukaan (*Surface texture*)

Tekstur permukaan pula berfungsi dalam mempengaruhi lekatan antara aspal serta agregat. Tidak hanya itu, juga mempengaruhi terhadap metode pengerjaan serta kekuatan kombinasi aspal. Tekstur permukaan dari agregat sendiri dibagi atas 3 bagian yaitu :

- a. Batuan kasar, tekstur permukaan yang kasar dan kasap akan memberikan gaya gesek yang lebih besar sehingga dapat menahan gaya-gaya pemisah yang bekerja pada agregat. Tekstur kasar juga memberikan daya adhesi yang lebih baik antara aspal dan agregat.
- b. Batuan halus, agregat yang halus lebih mudah terselimuti aspal namun tidak memberikan kelekatan yang baik dengan aspal sehingga pada batuan jenis ini lebih mudah dikerjakan namun sulit untuk dipadatkan.

c. Batuan mengkilat, batuan jenis ini memberikan internal friction yang rendah dan sulit dilekati aspal.

5. Absorpsi (*Absorption*)

Porositas suatu agregat mempengaruhi jumlah aspal yang dapat diserap/terabsorpsi dalam campuran. Sehingga semakin tinggi porositasnya, makin banyak aspal yang terabsorpsi sehingga campuran menjadi semakin mahal. Umumnya agregat yang berpori banyak biasanya tidak dapat digunakan, kecuali bilamana agregat tersebut mempunyai sifat – sifat lainnya seperti abrasi, daya tahan terhadap pelapukan, dan lain – lain.

6. Kelekatan terhadap aspal

Adhesi antara aspal dan batu terjadi karena adanya penyerapan dan tarik – menarik antara molekul. Agregat yang mudah tergelincir biasanya mempunyai sifat *hidrofilik* (suka air), jenis agregat ini tidak baik digunakan dalam konstruksi lapis keras, agregat *hidrofilik* umumnya mengandung asam atau silika seperti kuarsa. Namun, sebaiknya agregat yang menolak air akan mengikat aspal dengan lebih baik dan akan mengusir air yang mungkin dapat menyebabkan terjadinya penggelinciran, contoh agregat ini adalah batu kapur. Selain jenis agregat yang mempengaruhi ikatannya dengan aspal, bentuk partikel agregat yang kubisan, ukuran partikel dan permukaan agregat yang kasar juga cenderung memberikan ikatan yang baik antara agregat dan aspal.

1. Agregat halus

Agregat halus terdiri dari pasir alam atau pasir buatan atau gabungan bahan-bahan tersebut. Agregat halus harus bersih, kering, kuat, bebas dari gumpalan-gumpalan lempung dan bahan-bahan lain yang mengganggu. Karena perannya sebagai mortar bersama dengan aspal agregat halus memiliki ukuran agregat lebih halus dari saringan No.8 (=2,36 mm). agregat halus mempunyai ekuivalen pasir minimum 50%. Karakteristik agregat halus yang menjadi tumpuan bagi kekuatan campuran aspal terletak pada jenis, bentuk dan tekstur permukaan dari agregat. Agregat halus memegang peranan penting dalam pengontrolan

daya tahan terhadap deformasi, tetapi penambahan daya tahan ini diikuti pula dengan penurunan daya tahan campuran secara keseluruhan jika melebihi proporsi yang diisyaratkan.

Fungsi agregat halus pada campuran beraspal :

1. Menambah stabilitas dari campuran dengan memperkokoh sifat saling mengunci dari agregat kasar dan untuk mengurangi rongga udara agregat kasar.
2. Semakin besar tekstur permukaan agregat halus akan menambah stabilitascampuran dan menambah kekerasan permukaan perkerasan jalan.
3. Agregat halus pada saringan no.30 sampai dengan saringan no.200 penting untuk menaikkan kadar aspal, sehingga akan bertambah awet Keseimbangan proporsi penggunaan agregat kasar dan halus penting agar diperoleh permukaan yang tidak licin dengan jumlah kadar aspal yang diinginkan.

Tabel II.2 Spesifikasi Agregat Halus

Ukuran Saringan		Persen Lolos
Inci	Mm	
3/8	9,5	100
No. 4	4,75	90-100
No. 8	2,36	8-100
No. 30	0,06	25-100
No. 200	0,075	3-11

Sumber : *Petunjuk Teknik, 1999.*

2. Agregat Kasar

Agregat Kasar adalah agregat yang lolos saringan 3/4 (19,1 mm) dan tertahan pada saringan No. 4 (4,75 mm). Agregat kasar untuk campuran aspal harus terdiri dari batu pecah yang bersih, kuat, kering, awet, bersudut, bebas dari kotoran lempung dan material asing lainnya serta mempunyai tekstur permukaan yang kasar dan tidak bulat agar dapat memberi sifat interlocking yang baik dengan material lain dan agregat kasar harus terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori di mana agregat kasar

yang mengandung butir-butir pipih tidak melebihi 20% dari berat agregat seluruh nya. Fungsi agregat kasar dalam campuran beraspal yaitu:

- a) Memberikan kekuatan yang pada akhirnya mempengaruhi stabilitas dalam campuran.
- b) Kondisi saling mengunci (interlocking) dari masing- masing partikel agregat kasar.
- c) Agregat kasar mempunyai peranan untuk menjadikan campuran lebih ekonomis.
- d) Agregat kasar tahan terhadap suatu aksi perpindahan.

Sifat-sifat agregat kasar yaitu :

1. Kekuatan dan kekerasan

Stabilitas mekanis agregat harus mempunyai suatu kekerasan untuk menghindari terjadinya suatu kerusakan akibat beban lalu lintas dan kehilangan kestabilan. Pemeriksaan ketahanan terhadap abrasi dengan menggunakan mesin los angeles, jika dalam pemeriksaan ini kehilangan berat lebih dari harga yang ditentukan, maka agregat ini tidak layak digunakan sebagai bahan perkerasan jalan.

2. Bentuk dan tekstur agregat

Bentuk dan tekstur agregat mempunyai kestabilan dari lapisan perkerasan yang di bentuk oleh agregat tersebut. Agregat kasar yang di gunakan untuk campuran aspal harus dalam keadaan kering dengan memenuhi persyaratan berdasarkan table dibawah ini :

Tabel II.3 Gradasi Agregat Kasar Yang Diisyaratkan

Ukuran Saringan	Persentase lolos atau berat (%)
3/4 " 19,0 mm	100
1/2 " 12,5 mm	30 – 100
3/8 " 9,5 mm	0 – 55
No.4 4,75 mm	0 – 10
No. 200 0,075 mm	0 – 1

(Sumber : Buku 3 Spesifikasi PPJ PU Bina Marga)

Tabel II.4 Persyaratan Agregat Kasar

No.	Karakteristik	Metode Pengujian	Persyaratan
1	Berat jenis dan penyerapan air	AASHTO T85 – 81	-
2	Berat jenis SSD	AASHTO T85 – 81	-
3	Berat jenis Apparent	AASHTO T85 – 81	-
4	Penyerapan air	SNI 1969 – 1989 F	Maks. 3%
5	Abrasi dengan mesin los Angeles	SNI 03 – 2417 – 1991	Maks. 40%
6	Kelekatan Agregat terhadap aspal	SNI 03 – 2439 – 1991	Maks. 90%
7	Indeks kepipihan	ASTM D – 4791	Maks. 25%
8	Indeks Kelonjongan	ASTM D – 4791	Maks. 10%
9	Material lolos saringan	SNI 03 – 4142 – 1996	Maks. 1%

Sumber : Departemen Permukiman dan prasarana Wilayah- Direktorat Jendral Prasarana Aspal beton Campuran Panas, Silvia Sukirman (2009).

II.2.2 Bahan Pengisi (Filler)

Filler yang artinya sebagai filler dapat dipergunakan debu, batu kapur, debu dolomite, atau semen dan hams bebas dari setiap benda yang harus dibuang. Filler adalah bahan yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) dan tidak kurang dari 75% teradap beratnya. Fungsi dari bahan pengisi adalah sebagai rongga udara pada material sehingga memperkaku lapisan aspal. Berdasarkan spesifikasi umum Bidang Jalan dan Jembatan tahun 2010, Departemen Pekerja Umum, bahan pengisi (filler) untuk beton aspal, mempunyai ketentuan bahwa bahan pengisi yang ditambahkan harus bebas dari bahan yang tidak dikehendaki dan tidak menggumpal. Perlu diperhatikan agar bahan tersebut tidak tercampur dengan kotoran atau bahan lain yang tidak dikehendaki dan bahan dalam keadaan (kadar air maksimum 1%).

a. Jenis – jenis Filler

Jenis Filler yang digunakan abu batu, semen portland, debu dolomite, abu terbang, dan lain-lain.

- b. Syarat – Syarat Filler sebagai berikut : Adapun syarat – syarat Filler sebagai berikut :
1. Bahan filler terdiri atas abu batu, semen portland, debu dolomite, abu terbang, dan lain – lain.
 2. Harus kering dan bebas dari pengumpalan da bila diuji dengan pengayakan basah harus mengandung bahan yang lolos saringan No. 200 tidak kurang dari 70% beratnya.
 3. Penggunaan kapur sebagai bahan pengisi dapat memperbaiki daya tahan campuran, membantu penyelimutan dari partikel agregat.
 4. Semua campuran beraspal harus mengandung bahan pengisi yang ditambahkan tidak kurang dari 1% dan maksimum 2% dari berat total agregat.
 5. Bilamana kapur tidak terhidrasi atau terhidrasi sebagaian di gunakan sebagai bahan pengisi yang di tambahkan maka proporsi maksimum yang di ijinakan adalah 1,0% dari berat total campuran beraspal.

Tabel II.5 Gradasi Filler

Ukuran Saringan	Filler % Lolos
No. 30 (0,59 mm)	100
No. 50 (0,279) mm	95-100
No. 100 (0,149) mm	90-100
No. 200 0,075 mm	70-100

Sumber : Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (LASTON), 1983

II.2.3 Spesifikasi Gradasi Filler

Sifat agregat menentukan kualitasnya sebagai bahan material perkerasan jalan. Kualitas dan mutu yang baik di butuhkan untuk lapisan permukaan yang langsung memikul beban lalu lintas dan menyebarkannya kelapisan di bawahnya (Sukirman, 2012).

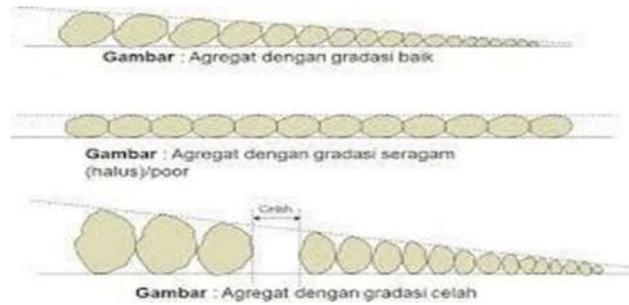
Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat di kelompokkan menjadi :

1. Kententuan dan keawetan yang di pengaruhi, yaitu : gradasi, ukuran maksimum, kadar lempung kekerasan dan ketahanan, bentuk butir tekstur permukaan.
2. Kemampuan yang di lapisi dengan aspal yang baik di pengaruhi yaitu : porositas kemungkinan basah.
3. Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilakn lapisan yang nyaman dan aman yang di pengaruhi yaitu : tahan geser, campuran yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan.

II.2.4 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 dapat di bedakan menjadi 3, yaitu :

- a. Gradasi seragam (*uniform graded*) adalah agregat dengan ukuran yang hampir sama/sejenis atau mengandung agregat halus yang sedikit jumlahnya sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka. Agregat dengan gradasi seragam akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan sifat permeabilitas tinggi, stabilitas kurang, berat volume kecil.
- b. Gradasi rapat merupakan campuran agregat kasar dan halus dalam porsi yang seimbang, sehingga dinamakan juga agregat bergradasi baik. Gradasi rapat akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas tinggi, kurang kedap air, sifat drainase jelek dan berat volume besar.
- c. Gradasi senjang (*gap graded*) merupakan digunakan untuk lapisan perkerasan lentur yaitu gradasi celah (*gap graded*). Agregat dengan gradasi senjang menghasilkan lapisan perkerasan yang mutunya terletak diantara kedua jenis di atas.



Gambar II.3 Gradasi Agregat

Penentuan distribusi ukuran agregat akan mempengaruhi kekakuan jenis campuran aspal. Dimana untuk menganalisis gradasi agregat dapat menggunakan metode seperti analisa saringan dimana pada pengujian tersebut dapat di peroleh distribusi ukuran partikel. Gradasi rapat akan menghasilkan campuran dengan kekakuan yang lebih besar dibandingkan gradasi terbuka. Dari segi kelelahan, kekakuan adalah suatu hal yang penting karena akan mempengaruhi tegangan dan regangan yang diderita campuran beraspal panas akibat beban dinamik lalu lintas. Bentuk gradasi agregat biasanya digambarkan dalam grafik hubungan antara ukuran saringan. Adapun persyaratan dan spesifikasi yang di isyaratkan sebagai berikut :

Tabel II.6 Spesifikasi Gradasi Agregat Gabungan

		% Berat Yang Lolos Terhadap Total Agregat Dalam Campuran							
		Stone Matrix Asphalt (SMA)			Lataston (HRS)		Laston AC		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1 ½	37,5								100
1	25			100				100	90-100
¾	19		100	90-100	100	100	100	90-100	76-90
½	12,5	100	90-100	50-88	90-100	90-100	90-100	75-90	60-78
⅜	9,5	70-95	50-80	25-60	75-85	65-90	77-90	66-82	52-71

No. 4	4,75	30-50	20-35	20-28			53-69	46-64	35-54
No. 8	2,36	20-30	16-24	16-24	50-72	35-55	33-53	30-49	23-41
No. 16	1,18	14-21					21-40	18-38	13-30
No. 30	0,6	12-18			35-60	15-35	14-30	12-28	10-22
No. 50	0,3	10-15					9-22	7-20	6-15
No. 100	0,15						6-15	5-13	4-10
No. 200	0,075	8-12	8-11	8-11	6-10	2-9	4-9	4-8	3-7

Sumber: *Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6 Perkerasan Jalan (2018)*

II.2.5 Aspal

a. Pengertian Aspal

Aspal adalah suatu bahan bentuk padat atau setengah padat berwarna hitam sampai coklat gelap, bersifat perekat (cementious) yang akan melembek dan meleleh bila dipanasi. Aspal tersusun terutama dari sebagian besar bitumen yang semuanya terdapat dalam bentuk padat atau setengah padat dari alam atau hasil pemurnian minyak bumi, atau merupakan campuran dari bahan bitumen dengan minyak bumi atau derivatnya (ASTM, 1994). Bitumen (The Asphalt Institute, 1993) adalah suatu campuran dari senyawa hidrokarbon yang berasal dari alam atau dari suatu proses pemanasan, atau berasal dari kedua proses tersebut, kadang-kadang disertai dengan derivatnya yang bersifat non logam, yang dapat berbentuk gas, cairan, setengah padat atau padat, dan campuran tersebut dapat larut dalam Karbondisulfida (CS₂). Aspal yang dipakai dalam konstruksi jalan mempunyai sifat fisis yang penting, antara lain : kepekatan (consistency), ketahanan lama atau ketahanan terhadap pelapukan oleh karena cuaca, derajat pengerasan, dan ketahanan terhadap air.

b. Sumber Aspal

Aspal yang dihasilkan dari industri kilang minyak mentah (crude oil) dikenal sebagai residual bitumen, yang dihasilkan dari minyak mentah

melalui proses destilasi. Proses penyulingan dilakukan dengan pemanasan hingga suhu 350°C di bawah tekanan atmosfer untuk memisahkan fraksi-fraksi minyak seperti gasoline (bensin), kerosene (minyak tanah) dan gas oil. Secara kualitatif, aspal terdiri dari senyawa asphaltenes dan Maltenes, sedangkan secara kuantitatif, Asphaltenes merupakan campuran kompleks dari hidrokarbon, terdiri dari cincin aromatik kental dan senyawa heteroaromatik mengandung belerang. Ada juga amina dan amida, senyawa oksigen (keton, fenol atau asam karboksilat), nikel dan vanadium. Aspal merupakan senyawa kompleks, bahan utamanya disusun oleh hidrokarbon dan atom-atom N, S, dan O dalam jumlah yang kecil. Dimana unsur-unsur yang terkandung dalam bitumen, antara lain : Karbon (82-88%), Hidrogen (8-11%), Sulfur (0-6%), Oksigen (0-1,5%), dan Nitrogen (0-1%).

Aspal adalah bahan yang Thermoplastis, yaitu konsistensinya atau viskositasnya akan berubah sesuai dengan perubahan temperatur yang terjadi. Semakin tinggi temperatur aspal, maka viskositasnya akan semakin rendah. Aspal mempunyai sifat Thixotropy, yaitu jika dibiarkan tanpa mengalami tegangan regangan akan berakibat aspal menjadi mengeras sesuai dengan jalannya waktu. Semakin besar angka penetrasi aspal (semakin kecil tingkat konsistensi aspal) akan memberikan nilai modulus elastis aspal yang semakin kecil dalam tinjauan temperatur dan pembebanan yang sama.

Terdapat bermacam-macam tingkat penetrasi aspal yang dapat digunakan dalam campuran agregat aspal, antara lain 40/50, 60/70, 80/100. Umumnya aspal yang digunakan di Indonesia adalah aspal dengan penetrasi 80/100 dan penetrasi 60/70. Dibawah ini merupakan sifat-sifat standar untuk aspal sesuai dengan Bina Marga, Divisi 6 2018.

Adapun persyaratan aspal penetrasi 60/70 terdapat pada tabel dibawah ini :

Tabel II.7 Spesifikasi Aspal Keras

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60/70
1	Penetrasi pada suhu 25°C (0,1 mm)	SNI 2456-2011	60 – 70
2	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis ($G \cdot \sin \delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 1,0$ kPa (C)	SNI 06-6442-2000	
3	Viskositas 135°C (Cst)	ASTM D2170-10	≥ 300
4	Titik lembek (C)	SNI 2434-2011	≥ 48
5	Dektalitas pada 25°C (cm)	SNI 2432-2011	≥ 100
6	Titik nyala (C)	SNI 2433-2011	≥ 232
7	Kelaruta dalam <i>Trichloroethylenne</i> (%)	AASHTO T44-14	≥ 99
8	Berat Jenis	SNI 2441-2011	$\geq 1,0$
9	Stabilitas penyimpanan. Perbedaan Titik lembek (°C)	ASTM D 5976 -00 Part6.1 da SNI 2434-2011	-

Sumber : Bina Marga, Divisi 6 (2018)

Tabel II.8 Persyaratan Aspal Pen 60/70

Jenis Pengujian	Metode
Penetrasi, 25°C, 100gr, 5 detik: 0,1 mm	SNI 06-2456-1991
100gr, 5 detik: 0,1 mm	SNI 06-2436-1991
Titik Nyala: C°	SNI 06-2433-1991
Daktalitas, 25°C : cm	SNI-06-2432-1991
Berat Jenis	SNI 06-2442-1991
Kelarutan dalam trichloretilene: % berat	RSNI M-04-2002
Penurunan berat (TFOT), % berat	SNI 06-2440-1991
Penetrasi setelah penurunan berat: % asli	SNI 06-2456-1990
Daktalitas setelah penurunan berat: % asli	SNI 06-2432-1991
Mineral lolos saringan No. 100 %	SNI 03-1968-1990

Sumber: Pedoman Pemanfaatan Aspal, S. Sukirman (1999)

c. Sifat Aspal

Aspal yang digunakan dalam konstruksi perkerasan jalan pada umumnya berfungsi sebagai pengikat dan pengisi rongga udara antara agregat, oleh karena itu, aspal yang digunakan harus bersifat (Sukirman, 1993) sebagai berikut :

1. Mempunyai Daya Tahan (*durability*)

Daya tahan aspal adalah kemampuan aspal mempertahankan sifat asalnya akibat pengaruh cuaca selama masa pelayanan jalan. Sifat ini merupakan sifat dari campuran aspal, jadi tergantung dari sifat agregat, campuran dengan aspal, faktor pelaksanaan dan sebagainya.

2. Kohesi dan Adhesi

Kohesi merupakan kemampuan aspal untuk mengikat unsur- unsur penyusun dari dirinya sendiri sehingga terbentuknya aspal dengan daktilitas yang tinggi. Sedangkan adhesi menyatakan kemampuan aspal untuk berikatan dengan agregat dan tetap mempertahankan agregat pada tempatnya setelah berikatan.

3. Kepekaan Terhadap Temperatur

Kepekaan aspal terhadap temperatur adalah sensitifitas perubahan sifat viskoelastis aspal akibat perubahan temperatur, sifat ini dinyatakan sebagai indeks penetrasi aspal (IP). Aspal dengan nilai IP yang tinggi akan memiliki kepekaan yang rendah terhadap perubahan temperatur. Oleh sebab itu, campuran yang dibuat dari aspal dengan nilai IP yang tinggi akan memiliki rentang temperatur pencampuran dan pemadatan yang lebih lebar dari campuran yang dibuat dari aspal dengan nilai IP yang rendah. Aspal dengan tingkat kekerasan atau nilai penetrasi yang sama belum tentu memiliki nilai IP yang sama. Sebaliknya, aspal dengan nilai IP yang sama belum tentu memiliki tingkat kekerasan yang sama. Pada aspal dengan IP yang sama, semakin tinggi tingkat kekerasan aspal semakin tinggi ketahanan campuran beraspal yang dihasilkannya (Brennen, 1999).

4. Kekerasan Aspal

Aspal pada proses pencampuran dipanaskan dan dicampur dengan agregat sehingga agregat dilapisi aspal atau aspal panas disiramkan ke permukaan agregat yang telah disiapkan pada proses peleburan. Pada waktu proses pelaksanaan, terjadi oksidasi yang menyebabkan aspal menjadi getas (viskositas bertambah tinggi).

5. Viskoelastisitas Aspal

Viskoelastisitas aspal adalah suatu material yang bersifat viskoelastis yang sifatnya akan berubah tergantung pada temperatur atau waktu pembebanan. Kegunaan mengetahui sifat viskoelastis aspal adalah untuk menentukan pada temperatur beberapa pencampuran aspal dengan agregat harus dilakukan agar mendapatkan campuran yang homogen dimana semua permukaan agregat dapat terselimuti oleh aspal secara merata dan aspal mampu masuk ke dalam pori-pori agregat untuk membentuk ikatan kohesi yang kuat dan untuk mengetahui pada temperatur berapa pemadatan dapat dilakukan dan kapan harus dihentikan (Brennen, 1999).

Bila pemadatan dilakukan pada temperatur dimana kondisi aspal masih sangat kental maka pada saat pemadatan akan terjadi pergeseran campuran beraspal karena campuran tersebut belum cukup kaku untuk memikul beban dari alat pemadat. Sebaliknya, bila pemadatan dilakukan pada temperatur yang sangat rendah dimana campuran sudah bersifat kurang elastis maka pemadatan yang diberikan tidak lagi menaikkan kepadatan campuran tetapi justru akan merusak atau mungkin menghancurkan campuran tersebut. Hal ini disebabkan karena pada campuran beraspal yang sudah cukup kaku, agregat pembentuknya sudah terikat kuat oleh aspal dan aspal tidak lagi berfungsi sebagai pelumas untuk relokasi agregat, sehingga energi pemadatan yang diberikan sudah tidak mampu lagi memaksa partikel agregat untuk bergerak mendekat satu dengan yang lainnya tetapi

energi ini justru akan menghancurkan ikatan antara agregat dengan aspal yang sudah terbentuk sebelumnya (Brennen, 1999).

d. Karakteristik Aspal

Agar aspal dapat berfungsi seperti yang diharapkan, maka secara umum aspal harus memiliki karakteristik sebagai berikut :

1. Aspal homogen dan tidak terlalu bervariasi.
2. Aspal tidak peka terhadap perubahan suhu di lapangan.
3. Aspal harus memberikan lapisan yang elastis atau tidak getas sehingga perkerasan tidak mudah retak.
4. Aspal aman terhadap pengerjaan terutama dari bahaya kebakaran.
5. Aspal tidak cepat rapuh dan lapuk akibat penuaan.
6. Aspal mempunyai adhesi (kelekatan) yang baik terhadap agregat yang dilapisi.
7. Aspal mudah dikerjakan.
8. Aspal harus dapat melapisi agregat dan mengisi rongga antar agregat sehingga perkerasan cukup kedap terhadap air.
9. Aspal memberikan kinerja yang baik terhadap campuran aspal.

Dalam kaitannya sebagai unsur hidrokarbon yang sangat kompleks, setiap sumber minyak bumi menghasilkan molekul aspal yang berbeda-beda sifat fisiknya sehingga perlu adanya pemeriksaan Laboratorium tersebut harus memenuhi spesifikasi sifat fisik aspal yang telah ditetapkan. Penambahan adiktif pun mempengaruhi sifat fisik aspal, dimana tujuan dari penambahan adiktif ini adalah untuk meningkatkan kualitas aspal.

Karakteristik aspal tersebut menjadi latar belakang adanya ketentuan yang diatur dalam spesifikasi. Beberapa ketentuan dan pengujian aspal berikut bertujuan untuk menjamin tercapainya karakteristik aspal yang dibutuhkan :

1. Pengujian penetrasi.
2. Pengujian titik lembek *aspal (Softening Point)*.
3. Pengujian titik nyala *(Flash Point)*.
4. Pengujian kehilangan berat *(Lost in Heating)*.

5. Pengujian kelarutan dalam CC14 (*Solubility*).
6. Pengujian daktilitas (*Ductility*).
7. Pengujian berat jenis (*Specific Gravity*).
8. Pengujian viskositas (*Viscosity*).

Metode atau prosedur pengujian-pengujian yang disebutkan diatas, diatur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk tiap jenis pengujian.

e. Jenis-jenis Aspal

Berdasarkan cara diperolehnya aspal dapat dibedakan atas :

1. Aspal alam dapat dibedakan :
 - Aspal gunung (*Rock Asphalt*)
 - Aspal danau (*Lake Asphalt*) contoh : aspal dari bormudus trinidad

2. Aspal Buatan

Jenis aspal ini di buat dari minyak bumi sehingga di kenal sebagai aspal minyak, selain itu aspal ini harus di panaskan terlebih dahulu sebelum digunakan sehingga sering juga di sebut aspal panas.

3. Aspal Keras

Aspal Keras/Panas (Aspal Cement, AC), adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan panas aspal ini berbentuk padat pada keadaan penyimpangan temperatur ruang (25°C - 35°C). Aspal keras terdiri dari beberapa jenis tergantung dari proses pembuatannya dan jenis minyak bumi asalnya. Semakin meningkatnya besar angka penetrasi aspal maka tingkat kekerasan aspal semakin rendah, sebaliknya semakin kecil angka penetrasi aspal maka tingkat kekerasan aspal semakin tinggi. (AASHTO, 1982).

Aspal semen yang penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas (lalu lintas dengan volume tinggi) sedangkan aspal semen dengan penetrasi tinggi digunakan untuk daerah bercuaca dengan lalu lintas bervolume rendah. Di Indonesia aspal semen biasanya dibedakan berdasarkan nilai penetrasi.

1. AC pen 40/50 yaitu AC dengan penetrasi antara 40-50.

2. AC pen 60/70 yaitu AC dengan penetrasi antara 60-70.
 3. AC pen 60/70 yaitu AC dengan penetrasi antara 84-100.
 4. AC pen 120-150 yaitu AC dengan penetrasi antara 120-150.
 5. AC pen 200-300 yaitu AC dengan penetrasi antara 200-300.
4. Aspal Cair
- Aspal cair adalah campuran antara aspal semen dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi. Dengan demikian cut back asphalt berbentuk cair dalam temperatur ruangan. Berdasarkan bahan pencairnya dan kemudahan menguap bahan pelarutnya, aspal cair dapat dibedakan atas:
- a. RC (*Rapid Curing cut back*)
Merupakan aspal semen yang dilarutkan dengan bensin atau premium. RC merupakan cutback yang paling cepat menguap.
 - b. MC (*Medium Curing cut back*)
Merupakan aspal semen yang dilarutkan dengan bahan pencair yang lebih kental seperti minyak tanah.
 - c. SC (*Slow Curing cut back*)
Merupakan aspal semen yang dilarutkan dengan bahan pencair yang lebih kental seperti solar. Aspal jenis ini merupakan aspal yang paling lama menguap.

5. Aspal Emulsi

Aspal emulsi berwujud cair dengan warna coklat kehitaman, termasuk tipe emulsi minyak dalam air di mana bitumen terdispersi dalam air. Tipe seperti ini dikenal sebagai Direct Emulsion. Agar terjadi emulsi diperlukan suatu bahan pengemulsi atau emulsifier. Emulsifier inilah yang mempengaruhi muatan listrik aspal emulsi, sehingga untuk aspal emulsi kationik jenis emulsifiernya adalah kationik pula. (Hartanto, 2015).

Aspal emulsi dapat dikelompokkan menurut jenis muatan listriknya dan menurut kecepatan pengerasannya. Berdasarkan muatan

listriknnya, aspal emulsi dapat dibedakan menjadi (Martens and Borgfeldt, 1985) :

- a. Aspal emulsi kationik Merupakan aspal emulsi yang bermuatan listrik positif. Pada saat ini aspal emulsi yang umum digunakan di Indonesia adalah aspal emulsi kationik, karena aspal emulsi tipe ini cocok dengan hampir semua batuan (agregat) yang ada di Indonesia.
- b. Aspal emulsi anionik atau disebut aspal emulsi alkali merupakan aspal emulsi yang bermuatan listrik negatif dan banyak digunakan untuk melapisi batuan basa.
- c. Aspal emulsi nonionik merupakan aspal emulsi yang tidak bermuatan listrik karena tidak mengalami ionisasi.

II.3 Limbah Karet Ban Dalam Kendaraan

II.3.1 Pengertian

Ban merupakan material komposit, umumnya dari karet alam/ karet isoprena yang digunakan buat ban truk serta ban mobil penumpang semacam pada sabuk tapak, sidewall, carcassply, serta innerliner. Ban sisa merupakan sesuatu jaringan 3 ukuran ataupun sesuatu produk jalinan silang dari karet alam serta karet sintesis diperkuat dengan carbon black yang meresap minyak encer (Satyagraha F, 2018)

II.3.2 Kandungan Ban Dalam Bekas Kendaraan

Karet ban memiliki kandungan karet alam 44.32%, campuran butadiene 15.24%, minyak aromatik 1.85%, unsur karbon hitam 30.47%, stearic acid 1.07%, antioksidan 0.83%, dan sulfur 1.42%.

II.3.3 Karakteristik Ban Dalam Bekas Kendaraan

Ban terdiri dari bahan karet ataupun polimer yang sangat kokoh diperkuat dengan serat-serat sintetik serta baja yang sangat kokoh yang bisa menciptakan sesuatu bahan yang memiliki sifat-sifat unik semacam kekuatan tarik yang sangat kokoh, fleksibel, ketahanan pergerakan yang besar (Satyagraha F, 2018).

II.4 Perencanaan Campuran

Perencanaan campuran (*Mix Design*) dimaksudkan untuk mengetahui perbandingan komposisi dari pada campuran secara tepat dan ekonomis dimana hasil yang diperoleh ini akan menjadi pedoman/resep pada pelaksanaan campuran. *Mix Design* juga berguna untuk mendapatkan komposisi terbaik. Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan campuran antara lain:

1. Komposisi Umum campuran

Campuran beton aspal pada umumnya dikomposisikan dari agregat kasar, agregat halus, aspal dan bahan pengisi.

2. Kadar Aspal Dari Campuran

Kadar aspal dari campuran sebelumnya ditetapkan sehingga kadar aspal efektif (yaitu kehilangan akibat abrasi agregat) harus tidak kurang dari nilai minum yang diisyaratkan. Persentase aspal yang sesungguhnya ditambah kedalam campuran akan tergantung pada daya absorpsi dari agregat yang dibutuhkan.

3. Proporsi Komponen Agregat

Komponen agregat kasar untuk campuran ditetapkan dalam pengertian fraksi rancangan yang terdiri dari:

- a. Fraksi agregat kasar, yaitu persentase berat material yang tertahan saringan No. 8 terhadap berat total campuran.
- b. Fraksi agregat halus yaitu persentase berat material yang lolos saringan No. 8 tertahan pada saringan No. 200 terhadap berat total campuran.
- c. Fraksi bahan pengisi yaitu persentase berat material yang lolos saringan No. 200 terhadap berat total campuran.

4. Sifat campuran yang dibutuhkan.

Jika agregat di campur dengan aspal maka :

1. Partikel-partikel antar agregat akan terikat satu sama lain oleh aspal.
2. Rongga-rongga agregat ada yang terisi aspal dan ada pula yang terisi udara.

3. Terdapat rongga antar butir yang terisi udara.
4. Terdapat lapisan aspal yang ketebalannya tergantung dari kadar aspal yang digunakan untuk menyelimuti partikel-partikel agregat.

Lapisan aspal yang baik haruslah memenuhi 4 syarat yaitu Stabilitas, Durabilitas, Fleksibilitas, dan Tahanan Geser. Jika kadar aspal yang digunakan terlalu sedikit, akan mengakibatkan lapisan pengikat antar butir kurang, terlebih lagi jika kadar rongga yang dapat diresapi aspal besar. Hal ini akan mengakibatkan lapisan pengikat aspal cepat lepas dan durabilitas berkurang. Sedangkan kadar aspal yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan kelenturan yang baik tetapi dapat terjadi Bleeding sehingga stabilitas dan tahanan geser berkurang.

Dengan demikian faktor yang mempengaruhi kualitas dari beton aspal adalah:

1. Absorpsi Aspal.
2. Kadar aspal efektif.
3. Rongga antar butir (VMA).
4. Rongga udara dalam campuran (VIM).
5. Gradasi agregat.

II.5 Karakteristik Campuran Pada Pengujian Marshall Test

Sifat-sifat campuran beton aspal dapat dilihat dari parameter- parameter pengujian marshall antara lain:

II.5.1 Stabilitas (*Stability*)

Nilai stabilitas diperoleh bersumber pada nilai tiap- tiap yang ditunjukkan oleh jarum dial. Stabilitas ialah parameter yang menampilkan batasan maksimum beban yang bisa diterima oleh sesuatu kombinasi beraspal dikala terjalin keruntuhan yang dinyatakan dalam kg. Nilai stabilitas yang sangat besar hendak menciptakan perkerasan yang sangat kaku sehingga tingkatan keawetannya menurun.

Nilai stabilitas sesungguhnya diperoleh dengan rumus (II.1) dibawah ini :

$$S = p \times q \dots\dots\dots(II.1)$$

Keterangan :

S = Angka stabilitas sesungguhnya

p = Pembacaan arloji x kalibrasi alat

q = Angka koreksi benda uji

II.5.2 Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan(*Flow*) ialah total deformasi yang dinyatakan dalam millimeter(mm) yang terjalin pada ilustrasi padat dari kombinasi perkerasan sampai menggapai titik beban maksimum pada dikala pengujian stabilitas Marshall. Semacam halnya metode mendapatkan nilai stabilitas, nilai flow ialah nilai dari tiap- tiap yang ditunjukkan oleh jarum dial. Cuma saja jarum dial flow umumnya dalam satuan milimeter(millimeter). Bagi Fredy, sesuatu kombinasi yang mempunyai kelelahan yang rendah hendak lebih kaku serta kecenderungan untuk mengalami retak dini pada umur pelayanannya.

II.5.3 Kerapatan (*Density*)

Density merupakan tingkat kerapatan campuran setelah campuran dipadatkan. Nilai kepadatan dihitung dengan persamaan (II.2) berikut ini:

$$\text{Kepadatan} = \frac{W_m}{(W_{mssd} - W_{mpw})} \dots\dots\dots(II.2)$$

Keterangan :

W_m = Berat benda uji setelah dipadatkan, (gr)

W_{mmsd} = Berat benda uji ssd setelah dipadatkan, (gr)

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

II.5.4 Rongga Udara (*VIM*)

Rongga udara dalam campuran (V_a) atau VIM digunakan untuk mengetahui besarnya rongga campuran dalam persen. Rongga udara dalam

campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan persamaan (II.3) – (II.6) berikut:

$$VIM = (100 - i - j) \dots\dots\dots(II.3)$$

$$b = \frac{a}{100 + a} \times 100 \dots\dots\dots(II.4)$$

$$i = \frac{b \times g}{BJ.Agregat} \times 100 \dots\dots\dots(II.5)$$

$$i = \frac{(100-b) \times g}{BJ.Agregat} \times 100 \dots\dots\dots(II.6)$$

Keterangan :

- a = Persentase aspal terhadap batuan
- b = Persentase aspal terhadap campuran
- g = Persen rongga terisi aspal
- i dan j = rumus substitusi

II.5.5 Rongga Antar Agregat (VMA)

Rongga antar agregat(VMA) merupakan ruang rongga diantara partikel agregat pada sesuatu perkerasan, tercantum rongga udara serta volume aspal efisien (tidak tercantum volume aspal yang diserap agregat). Perhitungan VMA terhadap kombinasi merupakan komposisi kombinasi ditetapkan selaku persen berat dari kombinasi total, maka VMA dihitung dengan persamaan dengan rumus (II.7):

$$VMA = \frac{100 (Gsb - Gmb) + Gmb \cdot Ps}{Gsb} \dots\dots\dots(II.7)$$

Keterangan :

VMA = Rongga udara pada Mineral agregat, (%)

- G_{mb} = Berat jenis *Bulk* campuran setelah pemadatan, (gr/cc)
- G_{sb} = Berat jenis Bulk dari total agregat, (gr/cc)
- P_s = Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran (%)

II.5.6 Rongga Terisi Aspal (VFA)

Rongga terisi aspal (VFA) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Rumus (II.8) sebagai berikut :

$$VFA = \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \times 100 \dots\dots\dots(II.8)$$

Keterangan :

- VFA = Persentase rongga udara yang terisi aspal, (%)
- VMA = Persentase rongga udara pada mineral agregat, (%)
- VIM = Persentase rongga udara pada campuran, (%)

II.5.7 Marshall Quotient (MQ)

Hasil Bagi Marshall merupakan hasil bagi stabilitas dengan kelelahan. Semakin tinggi nilai MQ, maka kemungkinan terjadinya kekakuan suatu campuran akan semakin tinggi, dan campuran akan semakin rentan terhadap keretakan. Nilai dari marshall quotient diperoleh dengan persamaan rumus (II.9) sebagai berikut :

$$MQ = S / F \dots\dots\dots(II.9)$$

Keterangan :

- MQ = Nilai marshall quotient, (kg/mm)
- S = Nilai stabilitas, (kg)
- F = Nilai flow, (mm)

II.6 Penelitian Terdahulu

Raharjo B, dkk (2016), melakukan penelitian untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi perubahan suhu pada proses pemadatan aspal panas (asphalt hotmix) lapis antara AC-BC terhadap parameter marshall dengan acuan kepada spesifikasi Bina Marga 2010.

Berdasarkan analisa pada pengolahan data diperoleh bahwa nilai kadar aspal yang digunakan untuk batas tengah yaitu 6,1% dan batas bawah 6.85%. dari hasil pengujian marshall pada suhu 135°C, 145°C, dan 155°C pada batas tengah telah memenuhi semua parameter marshall. Hanya pada suhu 125°C dan 115°C yang tidak memenuhi parameter marshall dikarenakan nilai Void in Mix (VIM) dan nilai Marshall Quotient (MQ) tidak masuk Spesifikasi Bina Marga 2010.

Sedangkan pengujian Marshall batas bawah pada suhu 115°C, 125°C, dan 135°C tidak memenuhi semua parameter Marshall, dikarenakan nilai Marshall Quotient (MQ) tidak masuk Spesifikasi Bina Marga 2010.

Hermawan, A.A. (2018) mengungkapkan suhu pemadatan Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) merupakan lapis perkerasan permukaan yang berfungsi sebagai lapis perata dari lapis aspal beton (Laston) yang berada pada bagian paling atas. Lapisan (AC-WC) sering menerima gesekan dan tekanan besar yang dihasilkan oleh interaksi antara arus lalu lintas dan aspal. Salah satu factor yang sering terjadi yang dapat mempengaruhi kualitas dan kinerja aspal beton adalah perubahan suhu ketika proses pemadatan. Proses pelaksanaan suhu dilapangan sering tidak tercapai suhu yang diinginkan dikarenakan beberapa faktor seperti jauhnya lokasi AMP, pengangkutan campuran aspal beton tidak menggunakan terpal, dan pengaruh cuaca. Akibat dari suhu pemadatan yang tidak sesuai, lapisan beton aspal cepat mengalami kerusakan berupa keretakan dan bergelombang sebelum umur rencana tercapai. Dalam upaya meningkatkan kinerja aspal beton tersebut, perlu dilakukan dengan menambahkan bahan tambah dalam campuran aspal, salah satunya dengan Styrofoam dikarenakan Styrofoam memiliki sifat yang termoplastis, yaitu menjadi lunak jika dipanaskan dan mengeras kembali setelah dingin.

Satyagraha F, (2018) melakukan penelitian untuk Mengetahui pengaruh dari bahan tambah limbah ban dalam bekas kendaraan dan *filler* limbah karbit pada campuran lapis aspal beton (laston) terhadap karakteristik marshall.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen menggunakan bahan tambah ban karet bekas kendaraan dengan variasi yang berbeda, yaitu 0%, 2%, 3% dan 4%. Karet ban yang digunakan adalah ban dalam sepeda motor yang dipotong menjadi bagian kecil, rata-rata sebesar 1,5 mm x 1,5 mm. Masing-masing variasi kadar ban karet bekas kendaraan dibuat 3 sampel benda uji dengan notasi (BK1, BK2, BK3, 2K1, 2K2, 2K3, 3K1, 3K2, 3K3, 4K1, 4K2, 4K3) dengan jumlah benda uji total sebanyak 12 benda uji. Pembuatan benda uji menggunakan campuran AC-BC kemudian diuji menggunakan metode marshall untuk mendapatkan nilai dai kepadatan (density), VIM, VMA, VFA, flow, stabilitas dan MQ (Marshall Quotient).

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan kadar ban karet bekas kendaraan dan filler limbah karbit mempengaruhi nilai karakteristik aspal pada pengujian marshall. Semakin bertambahnya kadar ban karet bekas kendaraan, maka akan meningkatkan nilai VIM, VMA, stabilitas dan juga MQ. Sedangkan nilai kepadatan, VFA dan flow semakin menurun. Penambahan paling efektif adalah pada kadar 3% dengan kepadatan sebesar 2,23 gr/cc, nilai VIM sebesar 6,62%, nilai VMA 14,61%, nilai VFA sebesar 54,81%, nilai flow 3,23 mm, nilai stabilitas 3071,37 kg serta nilai MQ sebesar 954,61 kg/mm. Secara keseluruhan, penambahan ban karet bekas kendaraan dan filler limbah karbit terhadap karakteristik memenuhi Standar Bina Marga 2010.

Panjaitan R, (2021), Mengungkapkan bahwa pengaruh dari limbah ban dalam bekas kendaraan terhadap karakteristik aspal dengan menggunakan pengujian marshall yang menggunakan bahan tambah limbah ban dalam bekas kendaraan yaitu 0%, 2%, 4%, dan 6% masing-masing dibuat sebanyak 3 benda uji. Peneliti melakukan eksperimen terhadap variabel terikat yaitu karakteristik marshall dan variabel bebas yaitu penambahan serbuk karet ban dalam bekas kendaraan pada campuran AC-WC. Pengujian ini dilakukan guna mengetahui nilai dari VIM (Void in the mix), VMA (Void in Mineral Agregat), VFA (Void

Filled With Asphalt), kelelehan (Flow), Stabilitas dan MQ (Marshall Quotient). Dari hasil penelitian bahwa kadar karet ban bekas dengan rentang 0% hingga 6% memenuhi semua parameter marshall, lalu rentang tersebut diambil nilai tengahnya dan didapatlah kadar serbuk karet ban bekas optimumnya sebesar 4%.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Waktu Dan Lokasi

Lokasi penelitian pada Laboratorium Teknik Sipil Universitas Fajar Makassar Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah (ex Racing Centre) No. 101, Karampuang, Panakukkang Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90231, Indonesia. Waktu penelitian dari tanggal 28 Januari 2022 – 12 Februari 2022.

III.2 Alat Dan Bahan

III.2.1 Alat

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. alat uji pemeriksaan aspal
 - a. picnometer
 - b. cawan
 - c. timbangan
 - d. termometer
2. alat pemeriksaan agregat
 - a. ayakan ukuran diameter saringan (38 mm; 25 mm; 19mm; 12,5 mm; 12,5 mm; 9,5 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 0,85 mm; 0,3 mm; 0,15 mm;) pan
 - b. mesin penggetar ayakan (*vibrator*), oven (temperatur 300°C dan daya listrik 2200W).
 - c. Timbangan (kapasitas 50kg)
 - d. Alat uji berat jenis (picnometer, timbangan, pemanas)
 - e. Bak perendam dan tabung equivalent.
 - f. Oven untuk memanaskan bahan sampai suhu yang diinginkan.
3. Perlengkapan-perlengkapan lainnya :
 - a. Panci untuk memanaskan campuran
 - b. Kompor pemanas dengan kapasitas 6 watt
 - c. Termometer berkapasitas 400°C

- d. Sendok pengaduk
 - e. Spatula
 - f. Timbangan ketelitian 0,01 gram
 - g. Sarung tangan karet
 - h. Kawat pengaduk bahan tambah.
4. Cetakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm (4") dan tinggi 7,5 cm (3") lengkap dengan plat atas dan leher sambung.
 5. Alat penumbuk (*compactor*) yang mempunyai permukaan tumbuk rata berbentuk silinder dengan berat 4,536 kg dan tinggi jatuh bebas 45,7 cm (18").
 6. Ejektor untuk mengeluarkan benda uji dari cetakan setelah dipadatkan.
 7. Bak perendam (*Water Bath*) dilengkapi pengatur suhu minimum 20°C
 8. Alat tekan Marshall yang terdiri dari :
 - a. Kepala penekan yang berbentuk silinder
 - b. Cincin penguji yang berkapasitas 2500 kg (5000 pound) dengan ketelitian 12,5 kg (25 pound) dengan arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm.
 - c. Arloji penunjuk kelelahan dengan ketelitian 0,25 mm dengan perlengkapannya.

III.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Agregat
2. Bahan pengisi (Filler)
3. Agregat dan filler yang diperoleh dari proses pemecahan batu alam dari sungai bili-bili kab. Gowa.
4. Aspal minyak pen 60/70
5. Bahan tambah karet ban dalam kendaraan.

III.3 Pelaksanaan Penelitian

III.3.1 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

a. Tahap persiapan/ Studi literatur

Pada tahap persiapan ini dimulai dengan pengumpulan berupa data-data yang didapatkan dari hasil pengujian sebelumnya yang telah dilakukan oleh peneliti serta data dari buku-buku dan jurnal-jurnal.

b. Tahap persiapan alat dan bahan

Sebelum kegiatan penelitian dilaksanakan hal yang perlu dilakukan terlebih dahulu yaitu mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Dalam kegiatan ini meliputi: pengambilan bahan material yang akan digunakan, pengangkutan bahan penelitian dari lokasi pengambilan bahan ke laboratorium.

c. Tahap pengujian sifat bahan karakteristik

Pada tahap ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari setiap bahan material yang akan digunakan untuk bahan campuran aspal beton AC-WC. Agar diketahui bahan material tersebut memenuhi standar spesifikasi yang telah ditentukan yaitu : SNI dan Bina Marga.

III.3.2 Tahap Penelitian Pemeriksaan Bahan/Material

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini sebelumnya diuji laboratorium untuk mendapatkan bahan yang memenuhi syarat-syarat bahan pekerjaan jalan. Pemeriksaan bahan yang akan dilakukan dibagi menjadi dua yaitu:

1. Pemeriksaan Aspal

a. Penetrasi aspal keras yaitu : untuk menentukan penetrasi aspal atau lembek (Solid atau seni semi solid) dengan memasukkan jarum, beban dan waktu tertentu dalam aspal pada suhu tertentu (SNI 06-2456-1991).

b. Titik lembek yaitu : untuk menentukan suhu dimana aspal menjadi lembek (SNI 06-2456-1991).

- c. Titik nyala dan titik bakar yaitu : untuk mengetahui suhu dimana aspal terbakar yang mengakibatkan kerusakan pada aspal tersebut (SNI 06-2456-1991).
 - d. Daktilitas yaitu : untuk menentukan keplastisan suatu aspal (SNI 06-2456-1991).
 - e. Berat jenis yaitu : untuk mengetahui perbandingan berat aspal terhadap airu suling pada suhu tertentu dengan volume yang sama (SNI 06-2456-1991).
2. Pemeriksaan agregat
- a. Analisa saringan : untuk menentukan gradasi suatu agregat (spesifikasi bina marga 2010).
 - b. Berat jenis dan penyerapan yaitu : untuk menentukan berat jenis (bulk), berat jenis semu (apparent) dan penyerapan agregat halus (AASHTO T-85-74 dan ASTM G. 127-68).
 - c. Sand equivalent yaitu : menghitung kelimpahan relatif pasir dibandingkan dengan tanah liat di tanah.
 - d. Keausan : untuk mengetahui tingkat ketahanan aus kerikil atau batu pecah dengan menggunakan alat mesin Los Angeles.

III.3.3 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Dan Bahan Tambah Karet Ban Dalam

Setelah menentukan kadar aspal optimum (KAO) yaitu 6% maka langkah selanjutnya yaitu menentukan bahan tambah berupa karet ban dalam, karet ban dalam yang digunakan yaitu 4% berdasarkan hasil penelitian terdahulu dan berbagai referensi artikel yang di lampirkan pada bagian halaman penelitian terdahulu.

III.3.4 Pembuatan Benda Uji

Bahan-bahan untuk penelitian ini yang terdiri dari kombinasi agregat halus, agregat kasar dan aspal haruslah diuji terlebih dahulu sebelum digunakan untuk campuran aspal. Ini dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat bahan, apakah memenuhi syarat seperti yang telah ditetapkan atau tidak. Pengujian ini mengacu

kepada metode AASHTO dan Bina Marga. Setelah pengujian awal selesai, dilakukan penyaringan terhadap semua jenis agregat dengan saringan sebanyak sembilan buah dan pan. kemudian setelah dilakukan penyaringan dilakukan penimbangan dengan berat tertentu untuk masing-masing ukuran saringan dan jenis agregat sesuai dengan gradasi yang telah ditentukan dalam spesifikasi. Pada penelitian ini dibuat sebanyak 12 benda uji. pada tiap-tiap variasi suhu pemadatan 90°C, 110°C, 130°C, dan 150°C di buat 3 benda uji dan tiap variasi diberi penanda. Adapun perinciannya sebagai berikut :

1. Untuk suhu pemadatan 90°C dibuat 3 benda uji.
2. Untuk suhu pemadatan 110°C dibuat 3 benda uji
3. Untuk suhu pemadatan 130°C dibuat 3 benda uji
4. Untuk suhu pemadatan 150°C dibuat 3 benda uji.

Sehingga total benda uji = 3 + 3 + 3 + 3 = 12 benda uji

Jumlah berat campuran untuk masing-masing benda uji sebesar 1200 gram. Selanjutnya adalah langkah-langkah pembuatan benda uji :

1. Aspal dipanaskan pada suhu 140°C.
2. Kemudian aspal ditimbang sesuai dengan kadar aspal optimum yang telah ditentukan.
3. Setelah itu karet ban dalam dicampurkan kedalam aspal yang beratnya sesuai dengan variasi yang telah ditentukan.
4. Kemudian dipanaskan sampai aspal dan bahan tambah karet ban dalam bercampur merata yang kemudian diaduk merata sampai mencapai suhu 140°C.
5. Setelah itu didiamkan sampai suhu pemadatan yang ingin diteleti yaitu suhu pemadatan 90°C -150°C, masing-masing suhu pemadatan yang ingin diuji dilebihkan suhunya 5°C-10°C. hal ini dikarenakan pada saat ingin dipadatkan ada rentang waktu dari proses memasukkan campuran kedalam cetakan benda uji.
6. Berikutnya campuran dimasukkan kedalam cetakan benda uji.

7. Setiap sepertiga bagian campuran yang masuk kedalam cetakan ditusuk-tusuk dengan menggunakan spatula sebanyak ± 15 kali dan 10 kali bagian tangan dengan maksud agar benda uji tidak terlalu berongga.
8. Selanjutnya benda uji dipadatkan dengan menggunakan alat penumbuk sebanyak 75 kali (bolak-balik) sehingga untuk satu benda uji dilakukan 150 kali penumbukan.
9. Setelah pemadatan selesai benda uji didinginkan.
10. Kemudian benda uji dikeluarkan dari cetakan dengan menggunakan alat bantu efektor, Kemudian dilakukan serangkaian pengujian.

Tabel III.1 jumlah Benda Uji

No	Variasi Suhu Pemadatan (°C)	Bahan Tambah Karet Ban Dalam kendaraan (%)	Jumlah sampel
1	90	4	3
2	110		3
3	130		3
4	150		3
Total			12

III.3.5 Pengujian Benda Uji

Pengujian terhadap campuran dilakukan dengan cara pengujian Marshall sebagai berikut :

1. Benda uji dibersihkan dari bahan-bahan lain.
2. Benda uji diberi tanda pengenal.
3. Mengukur ketinggian benda uji tiga kali pada tempat yang berbeda, lalu dirata-rata dengan ketelitian pengukuran 0,01 mm
4. Benda uji ditimbang untuk mengetahui berat keringnya.
5. Direndam di dalam air selama 20-24jam agar benda uji menjadi jenuh air.
6. Setelah benda uji menjadi jenuh kemudian ditimbang di dalam air.

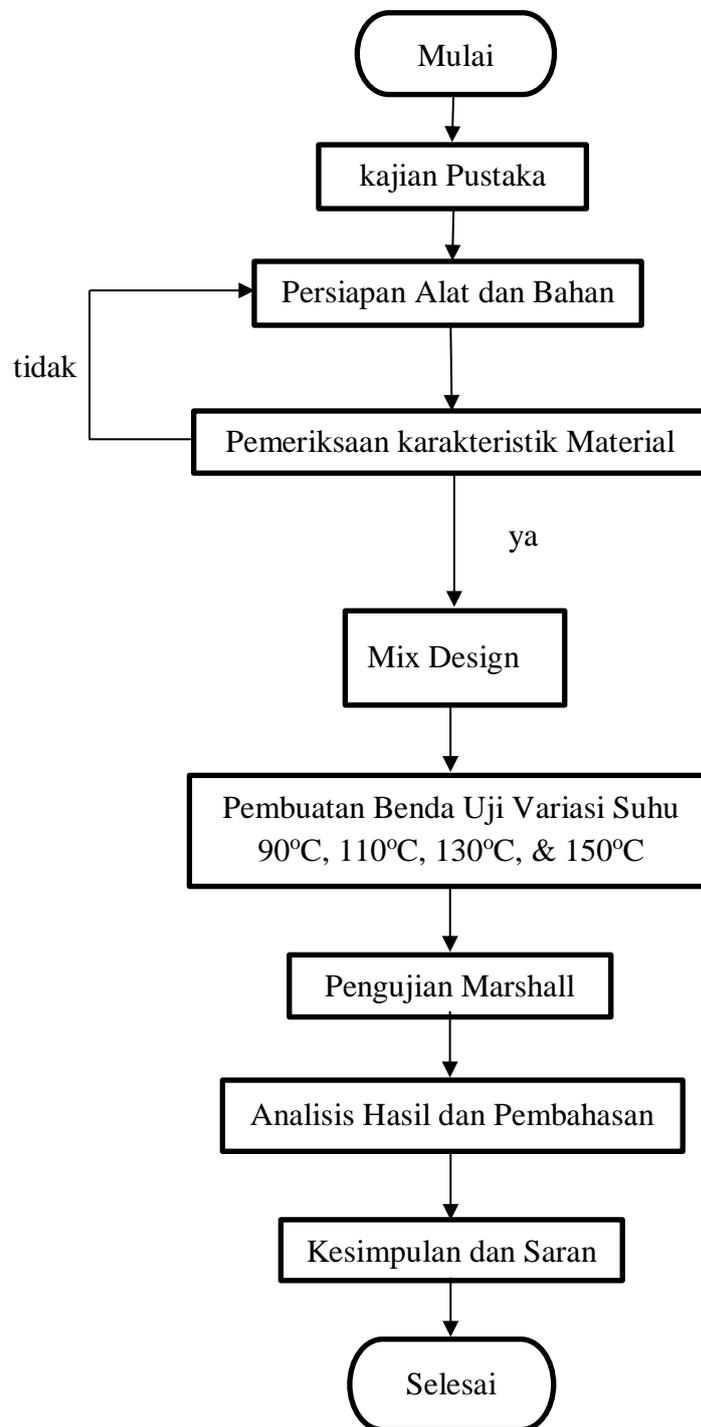
7. Benda uji dilap permukaannya kemudian ditimbang pada kondisi kering permukaan jenuh (SSD).
8. Benda uji direndam kedalam water bath dengan suhu 60°C selama 1 jam.
9. Kepala penekan benda uji dibersihkan terlebih dahulu dan permukaan diberi vaselin untuk memudahkan melepas benda uji.
10. Arloji kelelahan (flow meter) dipasang pada posisi diatas salah satu batang penuntun.
11. Kepala penekan benda uji dinaikkan sehingga menyentuh alas cincin penguji, kemudian diatur pada kedudukan jarum arloji tekan pada angka nol.
12. Pembebanan dimulai dengan kecepatan tetap 50 mm/menit, sehingga pembebanan maksimum tercapai. Pada saat arloji pembebanan berhenti dimulai kembali berputar menurun, maka dibaca arloji kelelehannya.
13. Setelah pembebanan selesai benda uji dikeluarkan dan alat uji.
14. Hasil dapat di ketahui dari proses perhitungan selanjutnya.

III.4 Analisa Data

Pada penelitian ini analisa data-data yang diperoleh dari hasil pengujian yang disajikan dalam gambar, tabel, dan grafik. kemudian dilakukan Analisa.

Analisa data pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai karakteristik Marshall.

III.5 Bagan Alir Penelitian



Gambar III.4 Bagan Alir Penelitian

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Sifat-sifat Agregat

Untuk mengetahui sifat agregat maka dilakukan suatu pengujian yang fisik agregat dalam penelitian ini secara keseluruhan sebagai berikut :

IV.1.1 Sifat Fisik Agregat Kasar

Hasil pengujian sifat fisik agregat kasar yang dilakukan sesuai metode pengujian SNI dilihat pada tabel IV.1 berikut :

Tabel IV.1 Sifat-sifat Fisik Agregat Kasar (Kerikil)

No	Pengujian	Spesifikasi	Hasil Perhitungan (%)	Keterangan
1.	Penyerpan - Batu pecah 0,5-1 - Batu pecah 1-2	Maks.3	2,35 2,45	Memenuhi (Terlampir)
2.	Berat Jenis Spesifik • Berat Jenis Bulk - Batu pecah 0,5-1 - Batu pecah 1-2 • Berat Jenis SSD - Batu pecah 0,5-1 - Batu pecah 1-2 • Berat Jenis Semu - Batu pecah 0,5-1 - Batu pecah 1-2	Maks. 3	2,46 2,56 2,52 2,62 2,62 2,73	Memenuhi (Terlampir)
3.	Keausan - Batu pecah 0,5-1 - Batu pecah 1-2	Maks. 40	24,65 24,40	Memenuhi (Terlampir)

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil, UNIFA

Tabel IV.1 memperlihatkan bahwa hasil-hasil pengujian agregat kasar berupa kerikil memenuhi spesifikasi Bina Marga.

IV.1.2 Sifat Fisik Agregat Halus

Hasil pengujian sifat fisik agregat halus yang dilakukan sesuai metode pengujian SNI dilihat pada tabel IV.2 berikut:

Tabel IV.2 Sifat-sifat Fisik Agregat Halus

No	Pengujian	Spesifikasi	Hasil Perhitungan (%)	Keterangan
1.	Penyerapan	Maks.3	2,58	Memenuhi (Terlampir)
2.	Berat Jenis Spesifik			Memenuhi (Terlampir)
	• Berat Jenis Bulk	Maks.3	2,63	
	• Berat Jenis SSD	Maks.3	2,72	
	• Berat Jenis Semu	Maks.3	2,02	
3.	Sand Equivalent	Min. 60	84,35	Memenuhi (Terlampir)

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil, UNIFA

Tabel IV.2 memperlihatkan bahwa hasil-hasil pengujian agregat halus berupa abu batu memenuhi spesifikasi SNI.

IV.1.3 Sifat Fisik Aspal

Hasil pengujian sifat fisik aspal yang dilakukan sesuai metode pengujian SNI dilihat pada tabel IV.3 berikut:

Tabel IV.3 Sifat-sifat Fisik Aspal

No	Pengujian	Spesifikasi	Hasil Perhitungan	Satuan	Keterangan
1.	Berat jenis	Min. 1,0	1,024	-	Memenuhi (Terlampir)
2.	Titik Lembek	Min. 48	53,25	°C	Memenuhi (Terlampir)
3.	Titik Bakar	Min. 200	295	°C	Memenuhi (Terlampir)

	Titik Nyala	Min. 200	220	°C	Memenuhi (Terlampir)
4.	Dektilitas	100 mm	152,50	Mm	Memenuhi (Terlampir)
5.	Penetrasi	60-70	60	0,1 mm	Memenuhi (Terlampir)

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil, UNIFA

Tabel IV.3 memperlihatkan bahwa hasil-hasil pengujian aspal memenuhi spesifikasi.

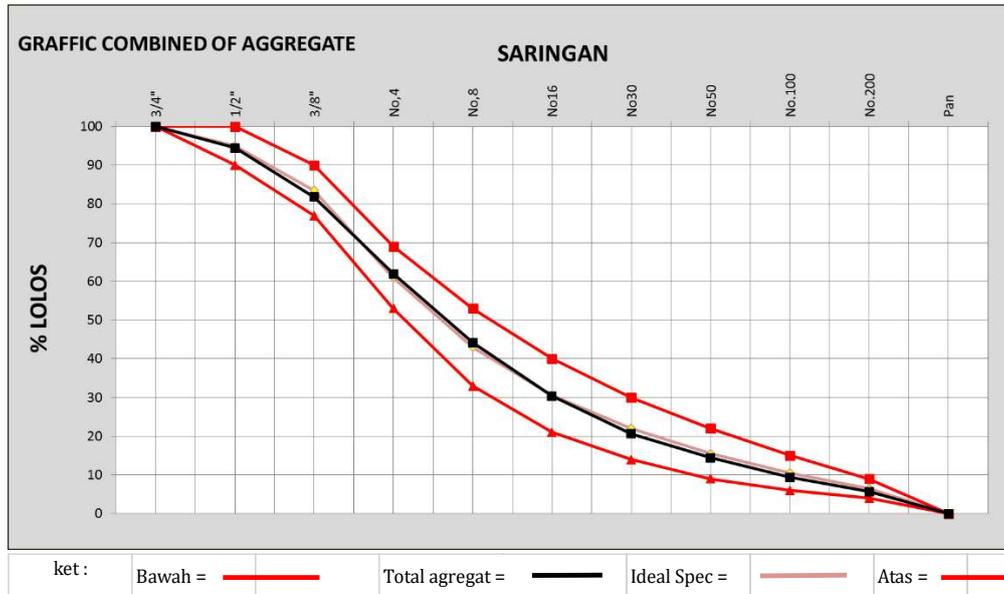
IV.2 Gradasi Penggabungan Agregat

Penentuan gradasi gabungan agregat sesuai spesifikasi SNI dapat dilihat pada tabel IV.4 berikut:

Table IV.4 Gradasi Penggabungan Agregat

No. Saringan	% Lolos BP 1 - 2	% Lolos BP 0,5 - 1	% Lolos Abu Batu	BP 1 - 2	BP 0,5 - 1	Abu batu	Total Agregat	Spesifikasi			Spesifikasi Ideal
				15%	30%	55%					
19,1 (3/4")	100,00	100,00	100,00	15	30	55	100	100	-	100	100
12,7 (1/2")	63,28	100,00	100,00	9,49	30	55	94,49	90	-	100	95
9,52 (3/8")	41,33	68,78	100,00	6,20	20,63	55	81,83	77	-	90	83,5
No. 4	0,57	22,85	100,00	0,09	6,85	55	61,94	53	-	69	61
No. 8	0,00	1,13	79,66	0	0,34	43,81	44,15	33	-	53	43
No. 16	0,00	0,00	55,21	0	0	30,37	30,37	21	-	40	30,5
No. 30	0,00	0,00	37,47	0	0	20,61	20,61	14	-	30	22
No. 50	0,00	0,00	26,25	0	0	14,44	14,44	9	-	22	15,5
No. 100	0,00	0,00	17,03	0	0	9,37	9,37	6	-	15	10,5
No. 200	0,00	0,00	10,32	0	0	5,68	5,68	4	-	9	6,5

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil, UNIFA



Gambar IV.1 Gradasi Gabungan Agregat

Berdasarkan Tabel IV.3, terlihat pada gambar IV.1 bahwa hasil pengujian gradasi gabungan agregat memenuhi spesifikasi SNI.

IV.2.1 Komposisi Campuran

Penentuan komposisi agregat sesuai spesifikasi SNI, dapat dilihat pada tabel IV.5 berikut:

Tabel IV.5 Komposisi Campuran

No. Saringan	Kadar Aspal :		Agregat	94%
	Batu Pecah (1 - 2)	Batu Pecah (0,5 - 1)		
19,1 (3/4")	0,0	0,0	0,0	0,0
12,7 (1/2")	62,1	0,0	0,0	0,0
9,52 (3/8")	37,1	105,7	0,0	0,0
No. 4	69,0	155,4	0,0	0,0
No. 8	1,0	73,5	126,2	0,0
No. 16	0,0	3,8	151,7	0,0
No. 30	0,0	0,0	110,0	0,0
No. 50	0,0	0,0	69,6	0,0
No. 100	0,0	0,0	57,2	0,0
No. 200	0,0	0,0	41,7	0,0
PAN	0,0	0,0	64,03	0,0
Total	169,2	338,4	620,4	0,0

Berat Total Agregat 1128 gr

Berat Aspal 69,12

Berat Bahan Tambah 2,88 gr

Tabel IV.5 memperlihatkan bahwa hasil perhitungan komposisi campuran yaitu total agregat yang digunakan sebanyak 1128 gr, kadar aspal yang digunakan 6% = 72 gr dan kadar bahan tambah sebesar 4% dari 72 gr adalah 2,88 gr, yang berarti 72 gr dikurang dengan 2,88 gr sama dengan 69,12 gr untuk kadar aspal yang digunakan dalam campuran.

IV.3 Pengujian Marshall

Pengujian Marshall dilakukan untuk mengetahui nilai parameter Marshall menggunakan gradasi spesifikasi Bina Marga. Hasilnya dapat dilihat pada tabel IV.6 berikut :

Tabel IV.6 Parameter Marshall Spesifikasi Bina Marga

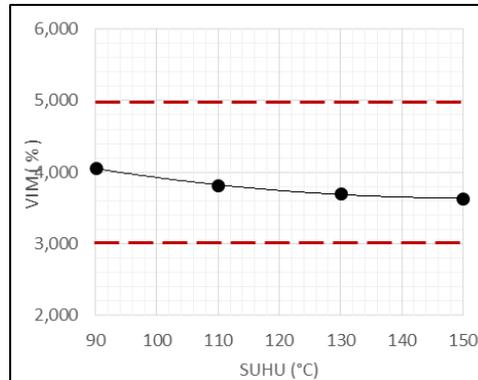
GRADASI	Variasi suhu	Karet Ban Dalam	Sampel	Nilai Hasil Pengujian Marshall						
				VIM	VMA	VFA	DENSITY	STABILITAS	FLOW	MQ
Tipe	°C	%	No.	%	%	%	Kg/mm	kg	mm	Kg/mm
Bina Marga	90	4	1	4,504	16,141	72,096	2,263	1029,62	3,00	343,21
			2	3,959	15,663	74,722	2,276	978,78	3,00	326,26
			3	3,696	15,432	76,049	2,282	975,24	3,10	314,59
			Rata - rata	4,053	15,745	74,289	2,273	994,55	3,03	328,02
	110	4	1	4,274	15,940	73,184	2,268	1021,34	2,90	352,19
			2	4,377	16,029	72,696	2,266	1035,53	2,95	351,03
			3	2,797	14,642	80,898	2,303	1063,90	3,00	354,63
			Rata - rata	3,816	15,537	75,592	2,279	1040,25	2,95	352,61
	130	4	1	2,859	14,697	80,547	2,302	1035,53	2,90	357,08
			2	3,663	15,403	76,220	2,283	1093,45	2,80	390,52
			3	4,573	16,202	71,773	2,261	1035,53	2,90	357,08
			Rata - rata	3,698	15,434	76,180	2,282	1054,83	2,87	368,22
	150	4	1	1,526	13,526	88,721	2,333	999,18	2,90	344,54
			2	5,410	16,937	68,059	2,241	1063,9	3,00	354,63
			3	3,969	15,672	74,673	2,275	1034,34	3,20	323,23
			Rata - rata	3,635	15,378	77,150	2,283	1032,47	3,03	340,8

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil, UNIFA

IV.3.1 Pengaruh Suhu Pematatan Terhadap Rongga Udara (VIM) Dengan Penambahan Karet Ban Dalam.

Rongga udara dalam campuran (Va) atau VIM menunjukkan presentase rongga dalam campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan dari campuran aspal dan agregat, semakin tinggi nilai VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran.

Berdasarkan hasil pengujian terhadap nilai VIM, spesifikasi Bina Marga yang diisyaratkan yaitu min 3 – max 5%. Pengaruh suhu pemadatan terhadap VIM dengan penambahan karet ban dalam dapat dilihat pada Gambar IV.2.



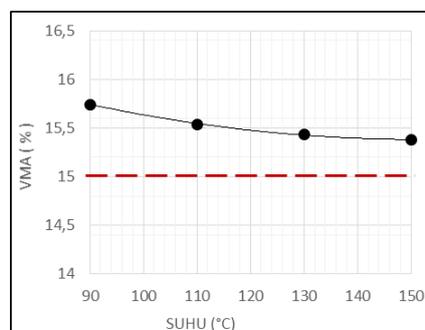
Gambar IV.2 Pengaruh suhu pemadatan terhadap VIM dengan penambahan karet ban dalam.

Pada Gambar IV.2 memperlihatkan hasil pengujian nilai VIM pada campuran mengalami penurunan seiring meningkatnya suhu pemadatan, pada pengujian ini didapatkan hasil rata-rata pada suhu pemadatan yaitu 90°C = 4,053%, 110°C = 3,816%, 130°C = 3,698%, dan 150°C = 3,635%. Semua suhu pemadatan memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan Bina Marga.

IV.3.2 Pengaruh Suhu Pemadatan Terhadap Rongga Diantara Agregat (VMA) Dengan Penambahan Karet Ban Dalam.

Rongga diantara agregat (VMA) adalah volume rongga udara diantara butir-butir agregat dalam campuran beraspal dalam kondisi padat.

Berdasarkan hasil pengujian terhadap nilai VMA, spesifikasi Bina Marga yang diisyaratkan yaitu minimal 15%. Pengaruh suhu pemadatan terhadap VMA dengan penambahan karet ban dalam dapat dilihat pada Gambar IV.3.



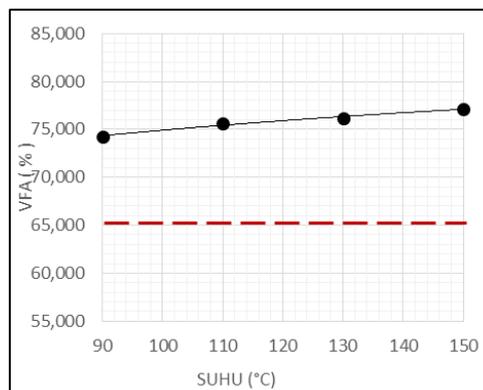
Gambar IV.3 Pengaruh Suhu Pemadatan Terhadap *VMA* dengan Penambahan Karet Ban Dalam.

Gambar IV.3 menunjukkan bahwa nilai *VMA* pada campuran terus menurun seiring meningkatnya suhu pemadatan. Dari hasil pengujian ini didapatkan nilai rata-rata suhu pemadatan yaitu 90°C = 15,745%, 110°C = 15,537%, 130°C = 15,434%, 150°C = 15,378%. Memenuhi spesifikasi Bina Marga yang telah diisyaratkan.

IV.3.3 Pengaruh Suhu Pemadatan Terhadap Rongga terisi Aspal (*VFA*) Dengan Penambahan Karet Ban Dalam.

Rongga terisi aspal (*VFA*) adalah rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan yang dinyatakan dalam persen terhadap rongga antar butiran agregat (*VMA*). Faktor-faktor yang mempengaruhi *VFA* antara lain kadar aspal, gradasi agregat, energi pemadatan (jumlah dan suhu pemadatan), dan absorpsi agregat. Mengecilnya nilai *VMA* pada kadar aspal yang tetap, berakibat membesar presentase rongga terisi aspal.

Berdasarkan hasil pengujian terhadap nilai *VFA*, spesifikasi Bina Marga yang diisyaratkan yaitu minimal 65%. Pengaruh suhu pemadatan terhadap *VFA* dengan penambahan karet ban dalam dapat dilihat pada Gambar IV.4.



Gambar IV.4 Pengaruh Suhu Pemadatan Terhadap *VFA* dengan Penambahan Karet Ban Dalam.

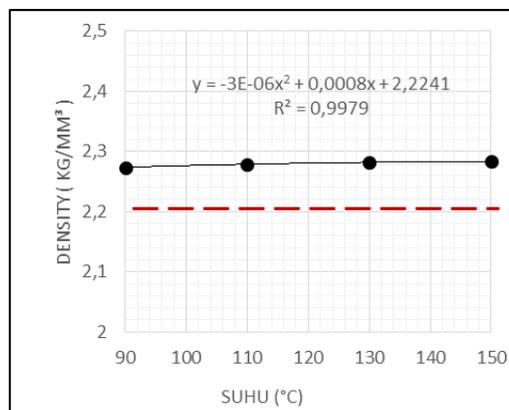
Gambar IV.4, memperlihatkan hasil pengujian nilai *VFA*, pada campuran terus naik seiring meningkatnya suhu pemadatan dengan bahan tambah karet ban dalam. Semakin besar nilai *VFA* menunjukkan semakin kecil nilai *VIM* karena

rongga yang terdapat dalam campuran telah terisi oleh aspal dimana semakin tinggi suhu pemadatan maka aspal semakin cair sehingga mudah untuk menutupi atau mengisi rongga rongga dalam campuran dan menghasilkan campuran aspal yang awet karena persentase rongga yang cukup kecil. Dari hasil nilai *VFA* didapatkan nilai rata-rata suhu pemadatan yaitu $90^{\circ}\text{C} = 74,289\%$, $110^{\circ}\text{C} = 75,592\%$, $130^{\circ}\text{C} = 75,434\%$, $150^{\circ}\text{C} = 77,150\%$. dapat dilihat bahwa semua variasi suhu pemadatan memenuhi spesifikasi Bina Marga Yaitu minimal 65%.

IV.3.4 Pengaruh Suhu Pemadatan Terhadap Kerapatan (*Density*) Dengan Penambahan Karet Ban Dalam.

Density adalah suatu nilai yang menunjukkan tingkat kerapatan campuran setelah dilakukan proses pemadatan. Semakin tinggi nilai *Density* dipengaruhi oleh gradasi agregat, kualitas agregat, kadar aspal, bahan *additive* dan proses pemadatan.

Berdasarkan hasil pengujian terhadap nilai kerapatan, spesifikasi Bina marga yang diisyaratkan yaitu $2,2 \text{ kg/mm}^3$. Pengaruh suhu pemadatan terhadap *Density* dengan penambahan karet ban dalam dapat dilihat pada Gambar IV.5.



Gambar IV.5 Pengaruh Suhu Pemadatan Terhadap *Density* dengan Bahan Tambah Karet Ban Dalam.

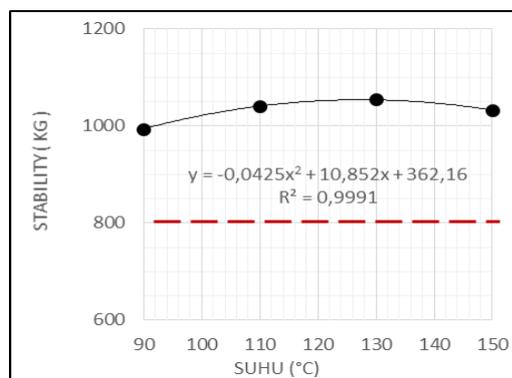
Dari Gambar IV.5 dapat dilihat bahwa pada variasi suhu pemadatan dengan bahan tambah limbah karet ban dalam semua memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan. Variasi suhu pemadatan $90^{\circ}\text{C} = 2,273\text{kg/mm}^3$, $110^{\circ}\text{C} = 2,279\text{kg/mm}^3$, $130^{\circ}\text{C} = 2,282\text{kg/mm}^3$, dan $150^{\circ}\text{C} = 2,283\text{kg/mm}^3$. Nilai kerapatan

memenuhi spesifikasi yaitu minimal 2,2 kg/mm³. Nilai *Density* menunjukkan besarnya kerapatan suatu campuran yang sudah dipadatkan. Campuran dengan kepadatan yang tinggi akan lebih mampu menahan beban yang lebih besar.

IV.3.5 Pengaruh Suhu Pematatan Terhadap Stabilitas (*stability*) Dengan Penambahan Karet Ban Dalam.

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan yang menerima beban lalu-lintas tanpa mengalami perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) seperti gelombang, alur (*rutting*), maupun mengalami *bleeding*. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh penetrasi aspal, kadar aspal, gesekan (*internal friction*), sifat saling mengunci (*interlocking*) dari partikel-partikel agregat, bentuk dan tekstur permukaan, serta gradasi agregat.

Berdasarkan hasil pengujian terhadap nilai stabilitas, spesifikasi bina marga yang diisyaratkan yaitu minimal 800 kg. Pengaruh suhu pematatan terhadap Stabilitas dengan penambahan karet ban dalam dapat dilihat pada Gambar IV.6.



Gambar IV.6 Pengaruh Suhu Pematatan Terhadap Stabilitas dengan Penambahan Karet Ban Dalam.

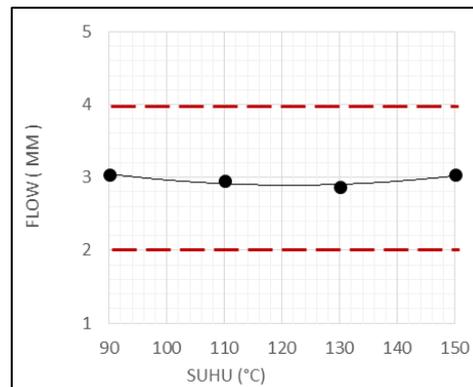
Gambar IV.6 menunjukkan bahwa variasi suhu pematatan dengan bahan tambah karet ban dalam memiliki nilai stabilitas yang baik. Hal ini menunjukkan bahwa karet ban dalam berpengaruh baik dalam meningkatkan kestabilan aspal. Dari hasil pengujian variasi suhu pematatan terhadap stabilitas dengan penambahan karet ban dalam didapatkan nilai rata-rata yaitu 90°C = 994,55 kg,

110°C = 1040,25kg, 130°C = 1054,83kg, 150°C = 1032,47kg. memenuhi spesifikasi Bina Marga yang diisyaratkan yaitu minimal 800 kg.

IV.3.6 Pengaruh Suhu Pematatan Terhadap Kelelahan (*Flow*) Dengan Penambahan Karet Ban Dalam.

Kelelahan (*flow*) adalah deformasi vertikal yang terjadi mulai awal pembebanan sampai kondisi stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya.

Berdasarkan hasil pengujian terhadap nilai *flow*, spesifikasi Bina Marga yang diisyaratkan yaitu min 2 – max 4 mm. Pengaruh suhu pematatan terhadap *Flow* dengan penambahan karet ban dalam dapat dilihat pada gambar IV.7.



Gambar IV.7 Pengaruh Suhu Pematatan Terhadap *Flow* dengan Penambahan Karet Ban Dalam.

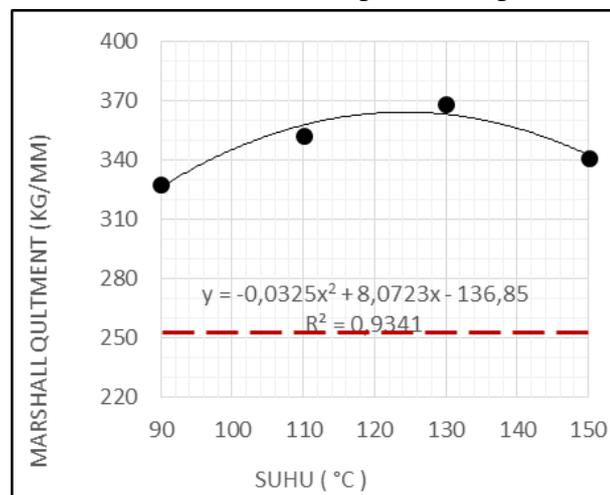
Gambar IV.7 memperlihatkan hubungan variasi suhu pematatan dengan penambahan kadar karet ban dalam terhadap *Flow*, dari hasil pengujian ini didapatkan nilai rata-rata suhu pematatan yaitu 90°C = 3,03mm, 110°C = 2,95mm, 130°C = 2,87mm, 150°C = 3,03mm. keempat variasi suhu pematatan memenuhi spesifikasi Bina Marga yaitu min. 2mm max. 4mm.

Semakin kecil nilai *flow* maka campuran tersebut lebih tahan terhadap kelelahan atau keruntuhan yang akan terjadi pada campuran.

IV.3.7 Pengaruh Suhu Pematatan Terhadap MQ (*Marshall Quotient*) Dengan Penambahan Karet Ban Dalam.

Hasil Bagi Marshall merupakan hasil bagi stabilitas dengan kelelahan. Semakin tinggi nilai MQ, maka kemungkinan terjadinya kekakuan suatu campuran akan semakin tinggi, dan campuran akan semakin rentan terhadap keretakan.

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap nilai MQ, spesifikasi yang diisyaratkan yaitu minimal 250 kg/mm. Pengaruh suhu pematatan terhadap MQ dengan penambahan karet ban dalam dapat dilihat pada Gambar IV.8.



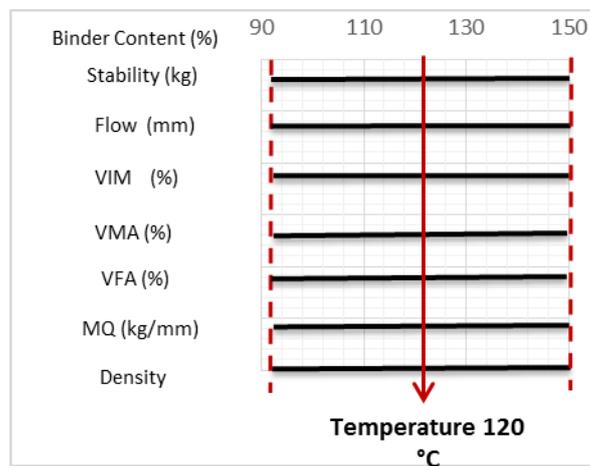
Gambar IV.8 Pengaruh Suhu Pematatan Terhadap MQ dengan Penambahan Karet Ban Dalam.

Gambar IV.8 memperlihatkan nilai MQ variasi suhu pematatan 90°C = 328kg/mm – 130°C = 368,22kg, mengalami peningkatan, setelah itu kembali turun pada variasi suhu pematatan 150°C = 340,8kg. Hal ini disebabkan stabilitas akan menurun jika suhu pematatan telah melampaui nilai maksimum stabilitas, disamping itu kelelehannya akan semakin tinggi dengan meningkatnya suhu pematatan. Nilai stabilitas dan kelelahan mempengaruhi *Marshall Quintient*, Makin tinggi suhu pematatan maka makin tinggi nilai stabilitas dan nilai kelelahan yang didapatkan, tetapi jika terlalu tinggi suhu pematatan, maka nilai stabilitas mengalami penurunan. Nilai MQ menunjukkan fleksibilitas campuran yaitu semakin besar nilai MQ pada suatu campuran maka akan semakin kaku (bila terlalu kaku cenderung mudah retak) campuran tersebut, demikian juga bila

semakin kecil nilai MQ maka tingkat kelenturan semakin besar (terlalu lentur cenderung kurang stabil).

IV.3.8 Pengaruh Suhu Pematatan dengan Penambahan Karet Ban Dalam Terhadap Karakteristik Campuran Aspal

Suhu pematatan pada suatu campuran AC-WC mempengaruhi karakteristik campuran aspal seperti *Density*, *VIM*, *VMA*, *VFA*, *Stability*, *Flow*, dan *Marshall Quotient*. Pengaruh suhu pematatan dengan penambahan karet ban dalam terhadap karakteristik campuran aspal dapat dilihat pada gambar IV.9.



Gambar IV.9 Suhu Pematatan Optimum dengan Penambahn Karet Ban dalam

Dari Gambar IV.9 memperlihatkan hasil pengujian Variasi suhu pematatan terhadap Karakteristik campuran aspal dengan penambahan karet ban dalam, semua variasi suhu pematatan memenuhi karakteristik Marshall, maka dari rentang variasi suhu pematatan 90°C - 150°C diambil nilai tengah suhu pematatan optimum yaitu 110°C – 130°C dari hasil pengujian karakteristik Marshall.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

1. Pengaruh suhu pemadatan terhadap karakteristik marshall pada campuran AC-WC dengan bahan tambah limbah karet ban dalam adalah sangat berpengaruh, dimana semakin bertambah suhu, maka semakin meningkat nilai stabilitas sampai suhu pemadatan 130°C.
2. Suhu pemadatan optimum pada lapisan aspal beton AC-WC dengan bahan tambah limbah karet ban dalam yang didapatkan yaitu antara 110°C – 130°C.

V.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan penambahan jumlah kadar karet ban dalam.
2. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan melakukan variasi suhu pemadatan yang lebih tinggi dengan penambahan kadar karet ban dalam yang lebih banyak.
3. perlu dilakukan penelitian lanjut dengan pengujian Cantabro Test.
4. Perlu dilakukan analisis lanjut mengenai hasil penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, 1982. *Standart Spesification For Transportation Materials and Method of Sampling and Testing, Part I: Spesification.*
- Aminsyah, M. 2018 Studi Eksprimental Penambahan Zat Aditif Anti Stripping pada Kinerja Campuran Aspal Beton (AC-WC) . Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan Vol 2 No.4 Desember 2014 , ISSN : 2355-374X
- Anonim, Departemen Pemukiman Dan Prasarana Wilayah Direktorat Jendral Prasarana Wilayah. 2002. Manual Pekerjaan Campuran Beraspal panas.
- Anonim. Spesifikasi Umum, 2018 (Revisi 2) . Devisi 6 Perkesrasan
- Asphalt Institue, 2014. Asphalt Mix Design Method, Manual Series No. 2 (MS-2) 7th Edition. Lexington, USA.
- ASTM D2726-04. Standart Test Method For Bulk Specific Gravity And Density of Non-Absorptive Compacted Bitiminous Mixtures.
- Eva, A. L, (2018). Pengaruh Temperatur Dan Pembebanan Terhadap Sifat Mekanis Beton Aspal Campuran Panas AC-WC Dan HRS. Tesis, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Bina Marga, 1983. Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston).
- Bina Marga, 1983. Lapisan Aspal beton.
- Bina Marga, 2010. Campuran Beraspal Panas.
- Bina Marga, 2018. Spesifikasi Umum Direktorat Jendral Bina Marga 2018 Revisi 3 Devisi 6. Kementrian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Dokumen Pelelangan Nasional Kementrian Pekerjaan Umum, Jendral Bina Marga (2010).
- Hartanto, A. (2015). Analisa Karakteristik Campuran Aspal Emulsi Dingin Dan Perbandingan Stabilitas Aspal Emulsi Dingin Dengan Laston. Adrian, P . 8
- Hermawan, A. A (2018). Variasi Suhu Pematatan Aspal Terhadap Karakteristik Marshall Pada Lapisan Aspal Beton AC-WC Dengan Bahan Tambah Styrofoam / Abdul Asis Hermawan. Diploma thesis, Universitas Negri Malang.

- Panjaitan, R. (2021). Analisa Penggunaan Limbah Karet Ban Bekas Pada Campuran Aspal Dengan Metode Marshall. S-1 thesis, 021008 Universitas Tridanti Palembang.
- Raharjo. B, dkk (2016). Pengaruh Suhu Pematatan Campuran Untuk Perkerasan Lapis Antara (AC-BC). JRSDD, Edisi Maret 2016, Vol. 4, No. 1, Hal:43-50 (ISSN:2303-0011).
- Satyagraha, F. (2018). Pengaruh Penambahan Limbah Ban Dalam Kendaraan Dan Filler Limbah Karbit Pada Laston (AC-BC) Terhadap Karakteristik Marshall.
- Sukirman, S. (1993). Perkerasan Lentur Jalan Raya.
- Sukirman, S. (1999). "*Perkerasan Lentur Jalan Raya*". Penerbit Nova,
- Sukirman, S. (2003). Beton Aspal Campuran Panas. Edisi Pertama. Bandung: Itenas.
- Sukirman, S. (2012). Beton Aspal Campuran Panas. Edisi Kedua. Bandung: Itenas.

LAMPIRAN

(PENGUJIAN AGREGAT DAN ASPAL)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Darwin Lampiran 1
Sumber bahan : Malino, Kab. Gowa
Diperiksa :
Proyek : Penelitian

PEMERIKSAAN BERAT JENIS & PENYERAPAN AGREGAT KASAR
SNI - 1970 - 1990 - F

Jenis Material		Batu Pecah 0,5 - 1		
		I	II	Satuan
Berat Benda Uji SSD di Udara	A	3025,00	3012,00	gram
Berat Benda Uji SSD di Air	B	1861,00	1781,00	gram
Berat Benda Uji Kering	C	2958,00	2940,50	gram
Perhitungan		Batu Pecah 0,5 - 1		
		I	II	Rata-rata
- <i>Apparent Spesifik Gravity</i>	$\frac{C}{C - B}$	2,70	2,54	2,62
- <i>Spesifik Gravity (Bulk)</i>	$\frac{C}{A - B}$	2,54	2,39	2,46
- <i>Spesifik Gravity (SSD)</i>	$\frac{A}{A - B}$	2,60	2,45	2,52
- <i>% Water Absorption</i>	$\frac{A - C}{C} \times 100$	2,27	2,43	2,35

Makassar, Januari 2022

Mengetahui,
Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST., MT.



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No.101 Makassar 90231

Dikerjakan : Darwin Lampiran 2
Sumber bahan : Malino, Kab. Gowa
Diperiksa :
Proyek : Penelitian

PEMERIKSAAN BERAT JENIS & PENYERAPAN AGREGAT KASAR
SNI - 1970 - 1990 - F

Jenis Material		Batu Pecah 1 - 2		
		I	II	Satuan
Berat Benda Uji SSD di Udara	A	3080,00	3005,00	gram
Berat Benda Uji SSD di Air	B	1917,00	1846,00	gram
Berat Benda Uji Kering	C	2989,25	2950	gram
Perhitungan		I	II	Rata-rata
- <i>Apparent Spesifik Gravity</i>	$\frac{C}{C - B}$	2,79	2,67	2,73
- <i>Spesifik Gravity (Bulk)</i>	$\frac{C}{A - B}$	2,57	2,55	2,56
- <i>Spesifik Gravity (SSD)</i>	$\frac{A}{A - B}$	2,65	2,59	2,62
- <i>% Water Absorption</i>	$\frac{A - C}{C} \times 100$	3,04	1,86	2,45

Makassar, Januari 2022

Mengetahui,
Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST., MT.



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Darwin Lampiran 3
Sumber bahan : Malino, Kab. Gowa
Diperiksa :
Proyek : Penelitian

Jenis Agregat : Split 0,5 - 1

GRADASI PEMERIKSAAN		PERCOBAAN	
Lolos	Tertahan	I	II
		Berat (gr)	Berat (gr)
1 1/2"	1"		
1"	3/4"	2500	
3/4"	1/2"	2500	
1/2"	3/8"		
3/8"	No.4		
Jumlah Berat (a)		5000	
Berat Tertahan (b)		3767,5	
Perhitungan			
a =	5000	$\frac{a-b}{a} \times 100\% = \frac{1232,5}{5000} \times 100\%$	= 24,65%
b =	3767,5		
a - b =	1232,5		
Keterangan :			
- Jumlah Putaran : 500 Putaran		- Jumlah Bola Baja : 11 Buah	

Makassar, Januari 2022
Mengetahui,
Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST., MT.



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR
Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Darwin Lampiran 4
Sumber bahan : Malino, Kab. Gowa
diperiksa :
Proyek : Penelitian

Jenis Agregat : Split 1 - 2

ABRASI LOS ANGELES			
Gradasi Pemeriksaan		PERCOBAAN	
Lolos	Tertahan	I	II
		Berat (gr)	Berat (gr)
1 1/2"	1"		
1"	3/4"	2500	
3/4"	1/2"	2500	
1/2"	3/8"		
3/8"	No.4		
Jumlah Berat (a)		5000	
Berat Tertahan (b)		3780	
Perhitungan		Keausan	
a =	5000	$\frac{a-b}{a} \times 100\%$	$= \frac{1220}{5000} \times 100\%$
b =	3780		
a - b =	1220		= 24,40%
Keterangan :			
- Jumlah Putaran : 500 Putaran		- Jumlah Bola Baja : 11 Buah	

Makassar, Januari 2022

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST., MT.



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No.101 Makassar 90231

Dikerjakan : Darwin Lampiran 5
 Sumber bahan : Malino, Kab. Gowa
 Diperiksa :
 Proyek : Penelitian

PEMERIKSAAN BERAT JENIS & PENYERAPAN AGREGAT HALUS
 SNI - 1970 - 1990 - F

Jenis Material		Abu Batu		Satuan
		I	II	
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh	250 gr	250	250	gram
Berat benda uji kering oven	BK	245,12	245,00	gram
Berat Picnometer + Air 25 °C	B	343,73	336,40	gram
Berat Picnometer + Benda Uji (SSD) + Air 25 °C	Bt	497,69	492,30	gram
Perhitungan		Abu Batu		
		I	II	Rata-rata
- <i>Apparent Jenis Bulk</i>	$= \frac{BK}{(B+250-Bt)}$	2,55	2,60	2,58
- <i>Spesifik Gravity (Bulk)</i>	$= \frac{250}{(B+250-Bt)}$	2,60	2,66	2,63
- <i>Spesifik Gravity (SSD)</i>	$= \frac{BK}{(B+BK-Bt)}$	2,69	2,75	2,72
- <i>% Water Absorption</i>	$= \frac{250 - BK}{(BK)} \times 100$	1,99	2,04	2,02

Makassar, Januari 2022

Mengetahui,
 Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST., MT.



LABORATORIUM JALAN RAYA DAN ASPAL
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Darwin
Sumber bahan : Mallino, Kab. Gowa
Diperiksa :
Proyek : Penelitian

Lampiran 5

PEMERIKSAAN SAND EQUIVALENT

* Sebelum penambahan beban

Contoh Nomor	Pengamatan	
	I	II
<i>Sand Reading</i>	3,2	3,3
<i>Clay Reading</i>	3,90	3,9
Perhitungan Sand Equivalent		
<i>Sand Reading</i> x 100%	$\frac{3,2}{3,9} \times 100 = 82,05$	$\frac{3,30}{3,90} \times 100 = 84,62$
<i>Clay Reading</i>		
SAND EQUIVALENT	83,33	

* Sesudah penambahan beban

Contoh Nomor	Pengamatan	
	I	II
<i>Sand Reading</i>	3,5	3,5
<i>Clay Reading</i>	4,2	4,1
Perhitungan Sand Equivalent		
<i>Sand Reading</i> x 100%	$\frac{3,5}{4,2} \times 100 = 83,33$	$\frac{3,50}{4,10} \times 100 = 85,37$
<i>Clay Reading</i>		
SAND EQUIVALENT	84,35	

Makassar, Januari 2022

Mengetahui

Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST., MT.

LABORATORIUM JALAN RAYA DAN ASPAL
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS FAJAR



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PROGRAM STUDI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Darwin Lampiran 6
Sumber bahan : Malino, Kab. Gowa
Diperiksa :
Proyek : Penelitian

ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR

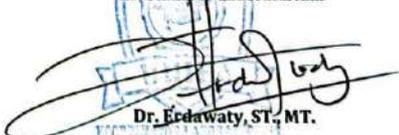
(SNI - 1969 - 1990 - F) - (PB - 0291 - 76)

Saringan	Berat Tertahan	Jumlah Berat Tertahan	Jumlah Persen	
			%Tertahan	%Lolos
25.4 (1")	0	0	0	0
19.1 (3/4")	0	0	0	0
12.7 (1/2")	0	0	0	100,00
9.52 (3/8")	507,00	507,00	16,91	83,09
No. 4	1905,50	2412,50	80,48	19,52
No. 8	551,50	2964,00	98,88	1,12
No. 16	0	0	0	0
No. 30	0	0	0	0
No. 50	0	0	0	0
No. 100	0	0	0	0
No. 200	0	0	0	0
PAN	33,50	2997,50	100,00	0,00

Makassar, Januari 2022

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium


Dr. Ecdawaty, ST., MT.



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Darwin
Sumber bahan : Malino, Kab. Gowa
Diperiksa :
Proyek : Penelitian

Lampiran 7

ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR
(SNI - 1969 - 1990 - F) - (PB - 0291 - 76)

Saringan	Berat Tertahan	Jumlah Berat Tertahan	Jumlah Persen	
			%Tertahan	%Lolos
25.4 (1")	0	0	0	100
19.1 (3/4")	0	0	0	100,00
12.7 (1/2")	1240,00	1240,00	41,44	58,56
9.52 (3/8")	869,00	2109,00	70,49	29,51
No. 4	866,00	2975,00	99,43	0,57
No. 8	0	0	0	0
No. 16	0	0	0	0
No. 30	0	0	0	0
No. 50	0	0	0	0
No. 100	0	0	0	0
No. 200	0	0	0	0
PAN	17,00	2992,00	100,00	0,00

Makassar, Januari 2022

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST, MT

LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Darwin
Sumber bahan : Malino, Kab. Gowa
Diperiksa :
Proyek : Penelitian

Lampiran 8

ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS
(SNI - 1969 - 1990 - F) - (PB - 0291 - 76)

Jenis Agregat :	Abu Batu	Berat Kering :	1000 Gram	
			Jumlah Berat Tertahan	Jumlah Persen
Saringan	Berat Tertahan	Jumlah Berat Tertahan	%Tertahan	%Lolos
25.4 (1")	0	0	0	100
19.1 (3/4")	0	0	0	100
12.7 (1/2")	0	0	0	100
9.52 (3/8")	0	0	0	100
No. 4	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 8	157,65	157,65	15,81	84,19
No.16	222,68	380,33	38,15	61,85
No.30	237,50	617,83	61,98	38,02
No.50	118,42	736,25	73,85	26,15
No.100	92,43	828,68	83,13	16,87
No.200	67,82	896,50	89,93	10,07
PAN	100,40	996,90	100,00	0,00

Makassar, Januari 2022

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST, MT.
KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Darwin **Lampiran 9**
Diperiksa :
Proyek : Penelitian
Laston : AC-WC

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL KERAS

PERSIAPAN			
Contoh dipanaskan	Mulai Jam :	10.00	Temperatur Aspal : 110 °C
	Selesai Jam :	10.30	
Contoh didiamkan	Mulai Jam :	10.36	Temperatur Ruang : 30 °C
	Selesai Jam :	11.05	
Contoh direndam pada temperatur 5°C	Mulai Jam :	11.06	Temperatur Tetap : 25 °C
	Selesai Jam :	12.06	

PEMERIKSAAN		
Nomor Picnometer	I	II
Berat Picnometer (A)	34,26	33,55
Berat Picnometer + Air Penuh (B)	57,88	56,94
Berat Air (C) = (B) - (A)	23,62	23,59
Berat Picnometer + Aspal (D)	39,44	38,6
Berat Aspal (E) = (D) - (A)	5,18	5,05
Berat Picnometer + Air + Aspal (F)	58,12	57,14
Isi Air (G) = (F) - (D)	18,68	18,54
Isi Contoh (H) = (C) - (G)	4,94	5,05
% Kehilangan = $\frac{\text{Berat Aspal (E)}}{\text{Isi Contoh (H)}}$	1,049	1,000
Rata - rata	1,024	

Persyaratan umum pada temperatur 25 °C minimal = 1

Makassar, Januari 2022

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST., MT.
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No.101 Makassar 90231

Dikerjakan : Darwin **Lampiran 10**
 Diperiksa :
 Proyek : Penelitian
 Laston : AC-WC

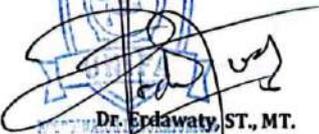
PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK

P E R S I A P A N						
Contoh dipanaskan	Mulai	Jam :	15:00		Temperatur Aspal : 60 °C	
	Selesai	Jam :	15:07			
Contoh didiamkan	Mulai	Jam :	15:07		Temperatur Ruang : 27 °C	
	Selesai	Jam :	15:52			
Contoh direndam pada temperatur 5°C	Mulai	Jam :	15:52		Temperatur Tetap : 5 °C	
	Selesai	Jam :	15:57			
P E M E R I K S A A N						
No	Pengamatan Temperatur		Waktu (detik)		Titik Lembek (°C)	
	°C	°F	I	II	I	II
1	5	41	0	0		
2	10	50	248	248		
3	15	59	371	371		
4	20	68	504	504		
5	25	77	632	632		
6	30	89,6	787	787		
7	35	95	903	903		
8	40	104	1097	1097		
9	45	113	1246	1246		
10	50	122	1312	1312	47	
11	55	131		1356		48
HASIL PEMERIKSAAN			Waktu (detik)		Titik Lembek (°C)	
Pemeriksaan I			1875		53	
Pemeriksaan II			1912		53,5	
Rata-rata			1893,5		53,25	

Makassar, Januari 2022

Mengetahui,

Kordinator Laboratorium


Dr. Erdawaty, ST., MT.



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Darwin
Diperiksa :
Proyek : Penelitian
Laston : AC-WC

Lampiran 11

PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN TITIK BAKAR ASPAL KERAS

PERSIAPAN

Contoh dipanaskan	Mulai Jam	15:26	Temperatur Aspal : 75°C
	Selesai Jam	16:22	
Menentukan Titik Nyala contoh :	Mulai Jam	16:00	Temperatur Aspal : 309°C
	Selesai Jam	16:22	15° per menit
Sampai 56°C dibawah titik nyala			
	Mulai Jam	16:17	Temperatur Aspal : 319 °C
	Selesai Jam	16:22	5°C s/d 6°C per menit
antara 56°C s/d 26°C dibawah titik nyala			

PEMERIKSAAN

°C DIBAWAH TITIK NYALA	Waktu	Temperatur	Titik Nyala
56	00:00:00	200	
51	00:22:63	205	
46	00:44:50	210	
41	01:18:34	215	
36	02:28:14	220	Titik Nyala = 220°
31	04:34:32	225	
26	04:36:21	275	
21	04:38:32	280	
16	04:40:07	285	
11	04:43:21	290	
6	04:45:31	295	Titik Bakar = 295°
1	04:47:33	300	
Persyaratan Umum :	PEN 40	PEN 60	PEN 80
	MIN : 200 °C	MIN : 200 °C	MIN : 200 °C

Makassar, Januari 2022

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST., MT.
KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Darwin
Diperiksa :
Proyek : Penelitian
Laston : AC-WC

Lampiran 12

PEMERIKSAAN DAKTILITAS

PERSIAPAN			
Contoh dipanaskan	Mulai Jam :	16:07	Temperatur Aspal : 110 °C
	Selesai Jam :	16:22	
Contoh didiamkan	Mulai Jam :	16:22	Temperatur Ruang : 30 °C
	Selesai Jam :	16:37	
Contoh direndam pada temperatur 5°C	Mulai Jam :	16:37	Temperatur Tetap : 25 °C
	Selesai Jam :	17:07	
PEMERIKSAAN			
Lama Pemeriksaan	Mulai Jam :	17:07	
	Selesai Jam :	17:27	
Daktalitas Pada Temperatur 25°C		Pembacaan Pengukuran Pada Alat	
Pengamatan	145 cm	160 cm	cm
Rata-rata	152,50		

Makassar, Januari 2022

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST., MT.
Koordinator Laboratorium
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Dikerjakan : Darwin
Diperiksa :
Proyek : Penelitian
Laston : AC-WC

Lampiran 13

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL

PERSIAPAN								
Contoh dipanaskan	Mulai	Jam :	10.00	Temperatur Aspal : 60 °C				
	Selesai	Jam :	10.30					
Contoh didiamkan Suhu Ruang	Mulai	Jam :	10.36	Temperatur Aspal : 25 °C				
	Selesai	Jam :	11.05					
Contoh didiamkan pada Temperatur 25° C	Mulai	Jam :	11.06					
	Selesai	Jam :	12.05					
Pemeriksaan Penetrasi	Mulai	Jam :	12.06					
	Selesai	Jam :	12.36					
Penetrasi pada Suhu 25°C, Beban 100 gram, selama 5 detik			I	II	III			
Pengamatan	1		59	55	61			
	2		60	61	62			
	3		59	59	60			
	4		61	61	59			
	5		62	64	60			
Rata - rata			60,2	60	60,4			
Jenis Aspal			PEN 40	PEN 60	PEN 80			
Penetrasi Umum			Min	Max	Min	Max	Min	Max
			40	59	60	79	82	99

Makassar, Januari 2022

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST., MT.

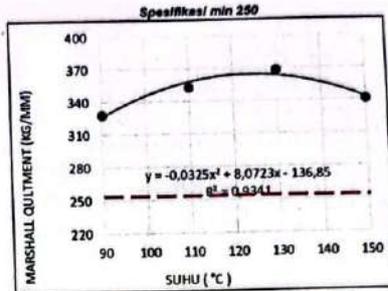
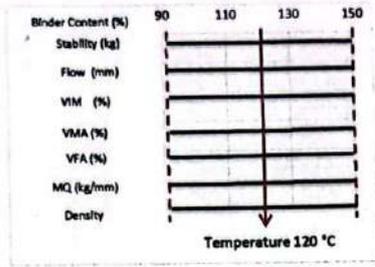
NO.	K.A	Temperatur	BAHAN TUNGGU KASAT DAN	B. KERING DI UDARA	B. SSD	B. SSD DI AIR	FLOW
1	6%	90 °C	4%	1197,0	1204,0	675,0	3
2				1197,0	1203,0	677,0	3
3				1198,0	1201,0	676,0	3,1
1	6%	110 °C	4%	1184,0	1200,0	678,0	2,9
2				1185,0	1199,5	676,5	2,95
3				1185,0	1193,5	679,0	3
1	6%	130 °C	4%	1190,0	1199,0	682,0	2,9
2				1187,0	1200,0	680,0	2,8
3				1195,0	1208,0	679,5	2,9
1	6%	150 °C	4%	1190,0	1200,5	690,5	2,9
2				1189,0	1218,0	687,5	3,0
3				1185,5	1212,0	691,0	3,2

TABEL PERHITUNGAN MARSHALL TEST
HOT MIX DESIGN DATA
by the MARSHALL METHOD

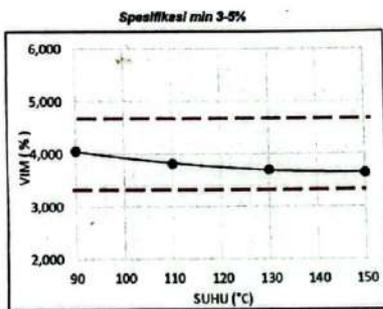
Lampiran 13

Berkas Nomor UJ	Variasi Karir Dan	Persen (%)		Bil. Berat tot.	Di Udara	Berat (gr)			Berat Isu Benda Uji	Berat jenis Halk Campuran	Rongga Udara (VIM)	Rongga dim. Camp.Agreg. (%VMA)	R. terisi asal % 17A	Stabilitas			Kelelahan (%)	Hardi Gagi Marshall
		Suba	Kadar aspal			A	B	C						D	E	F		
1.1	4	90	6	2,580		1197	675	1204	529	2,263	2,369	4,504	16,141	72,096	67	1029,62	3,00	343,21
1.2						1197	677	1203	526	2,276		3,959	15,663	74,722	69	978,78	3,00	326,26
1.3						1198	676	1201	525	2,282		3,696	15,432	76,049	66	975,24	3,10	314,59
											2,273	2,369	4,053	15,741	74,289	99,652	3,01	340,82
2.1	4	110	6	2,580		1184	678	1200	522	2,268	2,369	4,274	15,940	73,184	72	1021,34	2,90	352,19
2.2						1185	676,5	1199,5	522	2,266		4,377	16,029	72,696	73	1035,53	2,95	351,03
2.3						1185	679	1193,5	516,5	2,303		2,797	14,642	80,898	72	1063,90	3,00	354,63
											2,279	2,369	3,916	15,537	75,502	104,625	2,92	342,41
3.1	4	130	6	2,580		1190	682	1199	517	2,302	2,369	2,850	14,697	80,547	73	1035,53	2,90	357,08
3.2						1187	680	1200	520	2,283		3,263	15,403	76,220	74	1093,45	2,80	390,52
3.3						1195	679,5	1208	528,5	2,261		4,573	16,202	71,773	73	1035,53	2,90	357,08
											2,282	2,369	3,698	15,434	75,185	105,483	2,90	349,22
4.1	4	150	6	2,580		1190	690,5	1200,5	510	2,333	2,369	1,526	13,526	88,721	69	999,18	2,90	344,54
4.2						1189	687,5	1218	520,5	2,241		5,410	16,937	88,056	72	1063,90	3,00	354,63
4.3						1186	691	1212	521	2,275		3,969	15,672	74,673	70	1034,34	3,20	323,23
											2,281	2,369	3,635	15,370	77,159	102,247	3,00	346,90

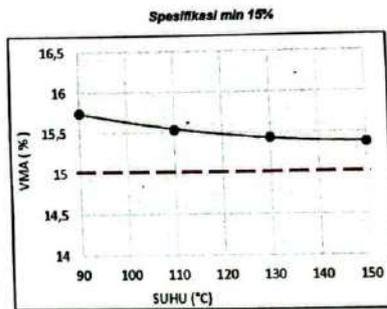
GRAFIK MARSHALL



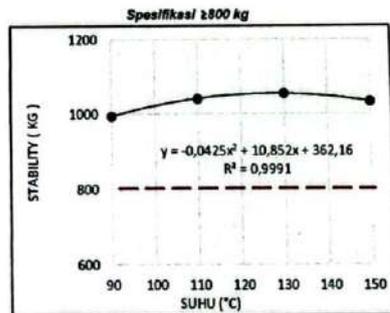
Hubungan kadar karet ban vs suhu vs Marshall



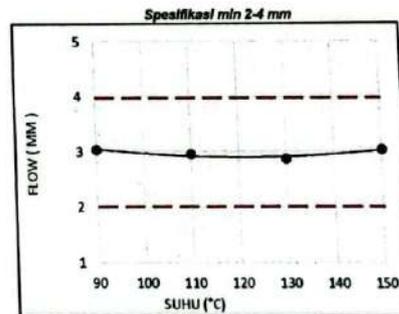
Hubungan kadar karet ban vs suhu vs rongga udara



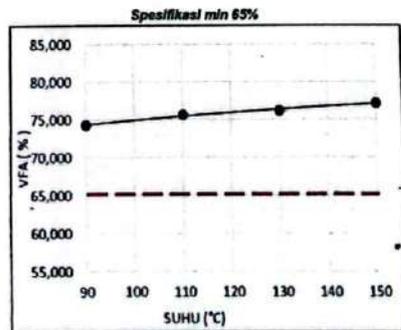
Hubungan kadar karet ban vs suhu vs rongga dalam campuran aspal



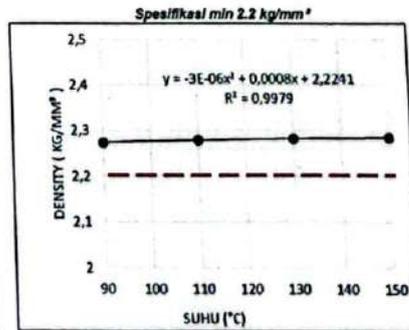
Hubungan kadar karet ban vs suhu vs stabilitas



Hubungan kadar karet ban vs suhu vs kelebihan plastis



Hubungan kadar karet ban vs suhu vs rongga terisi aspal



Hubungan kadar karet ban vs suhu vs berat jenis

LAMPIRAN

(DOKUMENTASI PENELITIAN)



Proses Analisa Saringan



Ukuran Agregat yang digunakan



Pengabungan Agregat



Karet Ban Dalam Saat Dibakar



Karet Ban Dalam Setelah Dibakar



Karet Ban Dalam



Agregat Dipanaskan



Kadar Aspal



Penambahan Karet Ban Pada Aspal



Proses Pengcampuran Aspal



Suhu Pemadatan Campuran



Proses Pemadatan Campuran



Benda Uji (Bricket)



Benda Uji Kering Diudara



Perendaman Benda Uji



Benda Uji SSD



Benda Uji SSD Dalam Air



Benda Uji Dalam Water Bath



Pengujian Marshall



Benda Uji Setelah Diuji