

**STUDI PEMANFAATAN LIMBAH SABUT KELAPA SEBAGAI
FILLER PADA CAMPURAN ASPAL AC-WC**

TUGAS AKHIR

Karya Tulis Sebagai Salah Satu Syarat

Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Dari

Universitas Fajar

OLEH

WAHYUDI ALI

(1920121034)



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS FAJAR

MAKASSAR

2024

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PEMANFAATAN LIMBAH SABUT KELAPA SEBAGAI
FILLER PADA CAMPURAN ASPAL AC-WC

Oleh:

Wahyudi Ali

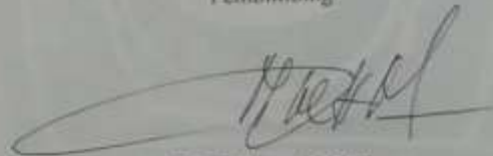
1920121034

Menyetujui

Tim Pembimbing

Makassar, 10 juli 2024

Pembimbing



Ir. Zulharnah, MT
NIDN.0031036407

Mengetahui,

Dekan fakultas teknik
Universitas Fajar


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

Ketua program studi teknik sipil
Universitas Fajar


Fatmawaty Bachim, ST., MT
NIDN.0919117903

PERNYATAAN ORISINALITAS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir dengan judul “ **STUDI PEMANFAATAN SABUT KELAPA SEBAGAI FILLER PADA CAMPURAN ASPAL AC-WC** ” adalah karya orisinal penulis dan setiap serta seluruh sumber acuan telah ditulis sesuai dengan penulisan ilmiah yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Fajar Makassar

Makassar, MEI 2024

Yang Menyatakan



WAHYUDI ALI

ABSTRAK

STUDI PENGGUNAAN LIMBAH SABUT KELAPA SEBAGAI SUBSTITUSI FILLER PADA CAMPURAN ASPAL AC-WC. WAHYUDI ALI. Penanaman kelapa telah tersebar hampir di seluruh wilayah Indonesia dan luas lahan kelapanya terus bertambah. Pada tahun 2004, luas perkebunan kelapa mencapai 3.334.000 hektar. Pada tahun 2013, luasnya meningkat menjadi 3.654.478 hektar. Sabut kelapa mempunyai potensi untuk menggantikan agregat pada perkerasan jalan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh Sabut Kelapa terhadap campuran perkerasan aspal AC-WC, dengan spesifikasi umum Bina Marga. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu variasi kadar aspal 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; dan 7%, dan variasi limbah aspal yang digunakan yaitu 0/100; 25/75; 50/50; dan 75/25, jumlah tumbukan yang digunakan adalah 2x75. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah marshall dan cantabro guna mengetahui karakteristik campuran. Hasil pengujian menunjukkan pada penggunaan Sabut Kelapa sebagai substitusi filler dengan variasi 25/75 yang menggunakan jumlah tumbukan 2x75 mempunyai pengaruh yang stabil dan terbaik terhadap karakteristik marshall seperti nilai stabilitas sebesar 868,00 Kg, Flow sebesar 2,37 mm, VFB sebesar 87,86%, VMA sebesar 17,18%, VIM sebesar 3,77% dan MQ sebesar 375,65 Kg/mm. Pada variasi 50/50 dengan jumlah tumbukan 2x75 juga mendapatkan pengaruh yang stabil seperti nilai stabilitas sebesar 878,33 Kg, Flow sebesar 2,30 mm, VFB sebesar 86,98%, VMA sebesar 17,18%, VIM sebesar 3,78% dan MQ sebesar 387,07 Kg/mm. Pada variasi 75/25 dengan jumlah tumbukan 2x75 juga mendapatkan pengaruh yang stabil seperti nilai stabilitas sebesar 930,00 Kg, Flow sebesar 2,23 mm, VFB sebesar 90,37%, VMA sebesar 17,31%, VIM sebesar 3,93% dan MQ sebesar 421,36 Kg/mm. Pengujian cantabro juga mendapatkan nilai tertinggi pada variasi 75/25 memenuhi dengan nilai rata-rata kehilangan sebesar 16,307. Dengan demikian, campuran tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018.

Kata kunci: *Kadar Aspal Optimum, Karakteristik Marshall, Sabut kelapa, Cantabro.*

ABSTRACT

STUDY ON THE USE OF COCONUT FIBER WASTE AS A FILLER SUBSTITUTE IN AC-WC ASPHALT MIXTURES. WAHYUDI ALI.

Coconut cultivation is widespread throughout Indonesia, and the coconut plantation area continues to expand. In 2004, the coconut plantation area reached 3,334,000 hectares. By 2013, it had increased to 3,654,478 hectares. Coconut fiber has the potential to replace aggregate in road pavements. This research aims to determine the extent of the influence of Coconut Fiber on AC-WC asphalt pavement mixtures, with the general specifications of Bina Marga. The independent variables in this study are variations in asphalt content of 5.0; 5.5; 6.0; 6.5; and 7%, and variations in asphalt waste used, namely 0/100; 25/75; 50/50; and 75/25, with a total of 2x75 gyrations. The methods used in this research are Marshall and Cantabro to determine mixture characteristics. Test results show that the use of Coconut Fiber as a filler substitute with a 25/75 variation and using 2x75 gyrations has a stable and optimal influence on Marshall characteristics, such as stability value of 868.00 Kg, Flow value of 2.37 mm, VFB of 87.86%, VMA of 17.18%, VIM of 3.77%, and MQ of 375.65 Kg/mm. In the 50/50 variation with 2x75 gyrations, it also achieves stable effects such as stability value of 878.33 Kg, Flow value of 2.30 mm, VFB of 86.98%, VMA of 17.18%, VIM of 3.78%, and MQ of 387.07 Kg/mm. In the 75/25 variation with 2x75 gyrations, it also achieves stable effects such as stability value of 930.00 Kg, Flow value of 2.23 mm, VFB of 90.37%, VMA of 17.31%, VIM of 3.93%, and MQ of 421.36 Kg/mm. Cantabro testing also yields the highest value in the 75/25 variation, meeting with an average loss value of 16.307. Thus, the mixture meets the specifications of Bina Marga 2018.

Keywords: Optimum Asphalt Content, Marshall Characteristics, Coconut Fiber, Cantabro.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami haturkan kepada Allah SWT atas kehadiran-Nya telah melimpahkan rahmad dan hidayah-Nya. Sehingga penulis bisa menyelesaikan penyusunan tugas akhir yang berjudul **“STUDI PENGGUNAAN LIMBAH SABUT KELAPA SEBAGAI SUBSTITUSI FILLER PADA CAMPURAN ASPAL AC-WC”** yang menjadi salah satu persyaratan menyelesaikan studi teknik sipil universitas fajar.

Ucapan terima kasih yang sebanyak-banyaknya saya sampaikan kepada semua pihak yang meberikan bimbingan beserta bantuan dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Olehnya pada kesempatan ini saya menyampaikan secara khusus terima kasih kepada:

1. Kepada kedua orang tua saya dengan ikhlas mendoakan, memberikan petunjuk, nasehat baik berupa materil atau non materil yang tidak bisa dinilai,
2. Rektor Universitas Fajar, Bapak Mulyadi Hamid, SE., M.Si.
3. Dekan Fakultas Teknik Universitas Fajar, Ibu Prof. Dr. Ir. Erniati, ST., MT.
4. Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Fajar, Ibu Fatmawaty Rachim, S.T., MT.
5. Ibu Ir. Zulharnah, MT. Selaku pembimbing. Terima kasih atas segala bantuan dan bimbingannya atas saran dan motivasi yang diberikan sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman Teknik Sipil 2019.

Dengan hal ini kritik dan saran yang tentunya sangat dibutuhkan unttuk membantu membangun dan menyempurnakan Tugas Akhir ini demi bertambahnya ilmu bagi penyusun Tugas Akhir ini tentunya.

Demikianlah sepatah kata dari penulis, wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatu.

Makassar, 22 Desember 2023

penyusun

Wahyudi Ali

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2 Rumusan masalah.....	2
I.3 Tujuan penelitian.....	2
I.4 Batasan Penelitian	3
I.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
II.1 Perkerasan jalan	4
II.1.1 Lapisan Pada Perkerasan Jalan.....	4
II.1.2 Jenis Perkerasan Jalan	7
II.2 Aspal	9
II.2.1 Jenis Jenis Aspal	10
II.2.2 Komposisi Aspal	14
II.2.3 Jenis Campuran Panas Aspal Beton	16
II.3 Agregat.....	19

II.3.1 Gradasi Agregat	20
II.3.2 Ukuran Butiran Agregat.....	22
II.3.3 Bahan Pengisi Filler	25
II.4 KAO (kadar aspal optimum).....	26
II.5 sabut kelapa.....	26
II.6 Pengujian Marshall	27
II.6.1 Stabilitas (<i>stability</i>)	28
II.6.2 Kelelehan (<i>Flow</i>).....	29
II.6.3 VIM (void in the mix).....	29
II.6.4 VMA (Void In The Mineral Agregat).....	30
II.6.5 MQ (Marshall Quotient)	30
II.6.6 VFB (Voids Filler in Bitument)	31
II.7 Pengujian cantabro	31
II.8 Penelitian terdahul	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	34
III.1 Waktu dan lokasi	34
III.2. Alat dan Bahan	34
III.2.1 Alat.....	34
III.2.2 Bahan	35
III.3 Pelaksanaan Penelitian	35
III.3.1 Prosedur pelaksanaan penelitian	35
III.3.2 Persiapan Bahan.....	36
III.3.3 Pembuatan benda uji	36
III.3.4 Pengujian benda uji	37

III.4	Metode pengumpulan data	38
III.4.1	Metode Design	38
III.4.2	Pengujian Mix Design	39
III.5	Analisa Data	39
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	40
IV.1	Hasil Uji Karakteristik Material.....	40
IV.2	Hasil Uji Sifat Fisik Agregat.....	40
IV.2.1	Sifat Fisik Agregat Kasar	40
IV.2.2	Sifat Fisik Agregat Halus.....	41
IV.3	Pengujian Kadar Aspal Optimal	41
IV.3.1	Pengujian Marshall	41
IV.4	Gradasi Gabungan.....	49
IV.5	Pengujian Marshall	50
IV.6	Pengujian Cantabro	56
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	59
V.1	Kesimpulan.....	59
V.2	Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA		60
LAMPIRAN		61

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Perbedaan Antara Perkerasan Kaku Dan Perkerasan Lentur (Sukirman, 1999)	8
Tabel II.2 persyaratan Aspal dengan penetrasi 60/70 (revisi SNI 03-1737-1983)	12
Tabel II.3 contoh komponen fraksional di indonesia, beton aspal campuran panas (sukirman, 2003)	15
Tabel II.4 ketentuan campuran laston AC-WC.....	18
Tabel II.5 ketentuan campuran laston AC-WC yang dimodifikasi.....	18
Tabel II.6 ketentuan gradasi rapat.....	20
Tabel II.7 ketentuan gradasi senjang.....	21
Tabel II.8 ketentuan agregat kasar	21
Tabel II.9 ketentuan agregat halus	24
Tabel II.10 spesifikasi gradasi campuran aspal.....	24
Tabel II.11 Spesifikasi Campuran Laston (AC).....	27
Tabel III.1 Jumlah sampel pengujian	35
Tabel III.2 pengujian dan metode pengujian agregat kasar	39
Tabel III.3 pengujian dan metode pengujian agregat halus	39
Tabel IV.1 Sifat sifat fisik agregat kasar.....	40
Tabel IV.2 Sifat-sifat fisik agregat halus	41
Tabel IV.3 Hasil pengujian marshall	42
Tabel IV.4 Gradasi gabungan	49
Tabel IV.5 Hasil pengujian marshall	50
Tabel IV.6 Hasil pengujian cantabro	57

DAFTAR GAMBAR

gambar II.1 struktur lapisan perkerasan jalan	5
gambar II.2 limbah sabut kelapa	26
gambar IV.1 Grafik nilai VMA terhadap variasi kadar aspal	42
gambar IV.2 Grafik nilai VFB terhadap variasi kadar aspal.....	43
gambar IV.3 Grafik nilai VIM terhadap variasi kadar aspal.....	44
gambar IV.4 Grafik nilai STABILITAS terhadap variasi kadar aspal.....	45
gambar IV.5 Grafik nilai FLOW terhadap variasi kadar aspal	46
gambar IV.6 Grafik nilai MQ terhadap variasi kadar aspal	47
gambar IV.7 Kurva grafik gabungan agregat.....	49
gambar IV.8 Hasil VIM terhadap variasi filler limbah sabut kelapa	51
gambar IV.9 Hasil VMA terhadap variasi filler limbah sabut kelapa.....	52
gambar IV.10 Hasil VFB terhadap variasi filler limbah sabut kelapa	53
gambar IV.11 Hasil STABILITAS terhadap variasi filler limbah sabut kelapa	54
gambar IV.12 Hasil FLOW terhadap variasi filler limbah sabut kelapa.....	55
gambar IV.13 Hasil MQ terhadap variasi filler limbah sabut kelapa	56
gambar IV.14 Variasi limbah sabut kelapa terhadap cantabro	57

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Jalan raya memegang peran penting sebagai salah satu sarana transportasi utama di daerah ini. Fungsinya adalah untuk menghubungkan berbagai wilayah demi kepentingan ekonomi, sosial, budaya, pemerintahan, dan lain-lain. Pertumbuhan volume lalu lintas yang cepat akan mempengaruhi kebutuhan akan konstruksi struktur perkerasan serta penggunaan materialnya. Dalam perencanaan permukaan perkerasan, perhatian khusus harus diberikan terhadap pemilihan campuran aspal, termasuk komposisi lapisan agregat, agregat halus (agregat tahan api), dan bahan pengisi.

Aspal adalah bahan pokok dalam pembuatan perkerasan aspal. Terdapat berbagai jenis aspal, termasuk aspal alami, aspal keras, aspal cair, dan aspal modifikasi. Aspal memiliki sifat viskoelastis, yang berarti ia mencair pada suhu tinggi dan mengeras pada suhu rendah. Sifat-sifat ini menjadi karakteristik penting dalam campuran permukaan jalan. Suatu permukaan jalan yang berkualitas adalah yang mampu menahan beban lalu lintas. Di Indonesia, terdapat beberapa jenis pelapis yang digunakan, namun yang paling umum adalah permukaan jalan beton atau aspal. Pelapis aspal beton sering dipilih karena stabilitas dan fleksibilitasnya yang baik.

Biasanya, material grade AC-WC terdiri dari agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi, dan bitumen. Bahan-bahan yang digunakan termasuk bahan yang tidak dapat diperbaharui seperti agregat dan aspal. Dengan pertumbuhan populasi yang terus meningkat, pembangunan jalan juga meningkat, sehingga meningkatkan kebutuhan dasar untuk permukaan jalan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif lain sebagai pengganti bahan penutup permukaan jalan. Cangkang lilin merupakan limbah yang dapat didaur ulang dan menjadi salah satu opsi yang layak

Penanaman kelapa telah tersebar hampir di seluruh wilayah Indonesia dan luas lahan kelapanya terus bertambah. Pada tahun 2004, luas perkebunan kelapa

mencapai 3.334.000 hektar. Pada tahun 2013, luasnya meningkat menjadi 3.654.478 hektar. Sejak tahun 1988, Indonesia telah menjadi negara dengan luas kebun kelapa terbesar di dunia. Sekitar 97,4% dari total luas perkebunan kelapa dikelola oleh perkebunan rakyat yang melibatkan sekitar 3,1 juta keluarga petani. Sementara sisanya, sekitar 2,1% dikelola oleh perkebunan besar swasta dan 0,5% dikelola oleh perkebunan besar milik negara.

Praktis semua bagian dari pohon kelapa dapat dimanfaatkan, termasuk daun, batang, buah, dan akarnya. Sabut kelapa, yang merupakan kulit kelapa yang telah dikupas, juga merupakan salah satu bagian yang berguna. Terutama di pedesaan, masyarakat sering menggunakan sabut kelapa untuk mencuci piring dan sebagai bahan bakar untuk memasak, baik untuk memasak air, masakan tradisional, maupun nasi. Abu yang dihasilkan dari pembakaran sabut kelapa seringkali dibuang begitu saja oleh masyarakat karena tidak dapat digunakan kembali. Namun, dengan menerapkan prinsip reuse, recycle, dan recovery, diharapkan abu sabut kelapa dapat dimanfaatkan kembali untuk mengurangi limbah sampah.

Peneliti mencoba melakukan penelitian tentang judul **“STUDI PEMANFAATAN LIMBAH SABUT KELAPA SEBAGAI FILLER PADA ASPAL AC_WC.”**

I.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Berapakah nilai karakteristik *marshall* pada campuran aspal menggunakan serbuk kulit kelapa sebagai filler pada campuran aspal?
2. Berapakah nilai cantabro pada campuran aspal menggunakan serbuk kulit kelapa sebagai filler pada campuran aspal?

I.3 Tujuan penelitian

tujuan penelitian yang akan dilakukan sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui nilai karakteristik *marshall* pada campuran aspal menggunakan serbuk kulit kelapa sebagai filler pada campuran aspal.

2. Untuk mengetahui nilai cantabro pada campuran aspal menggunakan serbuk kulit kelapa sebagai filler pada campuran aspal.

I.4 Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah dari penelitian yaitu:

1. Penelitian ini dilakukan dengan skala laboratorium, tidak dilakukan dengan skala lapangan.
2. Jenis limbah yang digunakan adalah sabut kelapa yang dicampurkan pada aspal AC-WC.
3. Gradasi yang digunakan adalah gradasi yang sesuai dengan spesifikasi bina marga.
4. Kadar variasi sabut kelapa yang akan digunakan 0%,25%,50% dan 75% sebagai filler.
5. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu *marshall test* dan cantabro

I.5 Manfaat Penelitian

Dengan melakukan penelitian ini diharapkan mampu:

1. Mengurangi ketersediaan limbah sabut kelapa.
2. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan dan pengetahuan tentang pemanfaatan limbah sabut kelapa dengan baik.
3. Dengan penelitian ini bisa memberikan bahan referensi baru kepada mahasiswa teknik sipil, peneliti dan akademisi dalam upaya meningkatkan pengetahuan tentang bahan alternative pada campuran aspal ac-wc.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Perkerasan jalan

Menurut Sukirman (1999), perkerasan jalan merupakan kombinasi dari agregat dan bahan perekat yang ditempatkan di atas dasar jalan dan kemudian dipadatkan untuk menanggung beban lalu lintas. Tujuan utamanya adalah untuk mengurangi tegangan atau tekanan yang diterima oleh roda kendaraan hingga mencapai nilai yang dapat diterima dalam konteks teknisnya. Ciri-ciri jalan dapat dibagi menjadi tiga hal, yaitu:

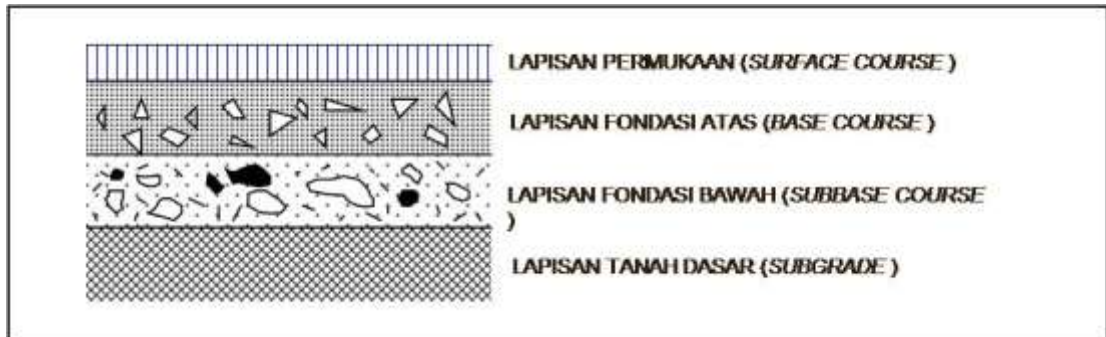
1. Keselamatan merupakan faktor yang ditentukan oleh tingkat gesekan yang terjadi saat ban kendaraan bersentuhan dengan permukaan jalan. Besarnya gesekan ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti bentuk dan kondisi ban, tekstur permukaan jalan, kondisi jalan itu sendiri, dan faktor lainnya.
2. Bentuk perkerasan atau tekstur perkerasan berkaitan dengan kondisi fisik jalan, termasuk retakan, defleksi, alur, gelombang, dan faktor-faktor lainnya.
3. Kegunaan pelayanan jalan, yang mencakup fungsi-fungsi tertentu, terkait dengan cara jalan memberikan layanan kepada pengguna. Permukaan jalan dan fungsinya sering kali merupakan kesatuan yang dapat dijelaskan sebagai "kenyamanan berkendara" atau "kualitas berkendara".

II.1.1 Lapisan Pada Perkerasan Jalan

Lapisan perkerasan jalan terdiri dari serangkaian lapisan material yang ditempatkan di atas perkerasan jalan. Komponen-komponen material ini memiliki peran penting dalam memberikan dukungan struktural bagi perkerasan, seperti yang dijelaskan oleh Christiady (2011). Untuk mencapai kekuatan struktural yang ekonomis dan optimal, struktur perkerasan haruslah dilapis sesuai dengan beban

yang diterima dari roda kendaraan. Setiap lapisan perkerasan memiliki fungsi yang berbeda-beda. Penting bagi setiap lapisan untuk mampu menyalurkan beban ke lapisan di bawahnya dengan tepat, karena jika tidak, dapat merusak lapisan lainnya. Lapisan perkerasan jalan terdiri dari beberapa lapisan, yang meliputi: lapisan aus, lapisan perekat, lapisan dasar, lapisan dasar, dan lapisan penutup.

Gambar 2.1 struktur lapisan perkerasan jalan



1. Menurut Sukirman (1999), lapisan permukaan merupakan bagian teratas dari perkerasan jalan. Fungsinya adalah sebagai berikut:
 - a. Lapis perkerasan yang menahan roda beban, lapisan ini mempunyai kestabilan yang tinggi dalam menahan beban roda selama masa pakai.
 - b. Sebagai lapis tahan air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya tidak menembus lapisan dibawahnya dan melemahkan lapisan tersebut.
 - c. Dibandingkan dengan lapisan keausan (wear layer) yang terkena dampak langsung dari gesekan rem kendaraan, maka lapisan ini mudah aus.
 - d. Lapisan tersebut mendistribusikan beban ke lapisan paling bawah sehingga mampu menopang beban kendaraan

Lapis permukaan dibagi menjadi menjadi 2 (dua) lapisan, yaitu:

1) Lapisan Asphalt Concrete – Wearing Course (AC – WC)

Ini adalah lapisan perkerasan jalan yang berada di atas lapisan tersebut dan berfungsi sebagai lapisan anti aus. Meskipun bersifat non-struktural, lapisan aspal AC-WC dapat meningkatkan ketahanan perkerasan terhadap kerusakan, sehingga meningkatkan umur konstruksi perkerasan secara keseluruhan. Lapisan aspal AC-WC

bertekstur Fungsi dari lapisan aspal ini antara lain:

- a. Menjaga perkerasan dari pengaruh air.
- b. Menyajikan permukaan yang halus.
- c. Menyediakan permukaan yang kesat.

2) Lapisan Asphalt Concrete – Binder Course

Lapisan ini terletak di atas lapisan keausan (wear layer) dan di atas lapisan dasar subbase. Meskipun tidak langsung terpapar dengan cuaca, lapisan ini harus memiliki ketebalan yang memadai untuk mengurangi tegangan atau regangan akibat beban lalu lintas yang diteruskan ke lapisan di bawahnya, terutama lapisan sub-base dan base layer (lapisan pemerintah). Fungsi dari kelas ini adalah:

- a. Mengurangi tegangan.
- b. Mampu menanggung beban lalu lintas yang paling besar, sehingga perlu memiliki kekuatan yang memadai.

2. Lapisan pondasi atas (*base course*)

Lapisan atas Departemen Pekerjaan Umum (1983) merupakan lapisan perkerasan jalan yang terbuat dari campuran aspal dan agregat dengan perbandingan tertentu yang dicampur dan dipadatkan panas. Lapisan ini berada di bawah lapisan AC-BC. Sub-base atas adalah bagian perkerasan antara sub-base dan lapisan permukaan. Memiliki fungsi seperti:

- a. Sebagai lapis penyangga bagi lapis permukaan.
- b. Bagian perkerasan yang menahan gaya dari beban roda dan menyebarkan ke lapisan bawahnya.
- c. Sebagai lapisan persapan untuk lapisan yang dibawahnya
- d. Memberikan bantalan terhadap lapisan permukaan dan memikul beban horizontal dan vertical.

3. Lapisan pondasi bawah (*subbase*)

Lapisan pondasi bawah merupakan bagian dari perkerasan yang berada antara lapis pondasi atas dan tanah dasar. Memiliki fungsi sebagai berikut

- a. Bagian dari perkerasan yang menyebarkan beban lalu lintas ke tanah

dasar.

- b. Efisiensi penggunaan bahan material, material pondasi bawah relative lebih mura jika dibandingkan dengan yang diatas.
- c. Lapisan untuk mencegah partikel partikel dari tanah dasar ke lapisan perkerasan atas.
- d. Sebagai lapisan pertama agar pelaksanaan pekerjaan perkerasan dapat berjalan dengan lancar.

4. Tanah dasar (*subgrade*)

Subgrade merujuk pada permukaan tanah alami atau permukaan dasar, termasuk permukaan tanah hasil galian atau timbunan, yang berfungsi sebagai dasar untuk menempatkan lapisan perkerasan lainnya. Pemadatan yang optimal dapat dicapai dengan mempertahankan kadar air pada tingkat yang sesuai dan konsisten sepanjang umur pakai yang diharapkan. Hal ini dapat dicapai melalui ketersediaan peralatan dan sistem drainase yang efektif, seperti yang dijelaskan oleh Sukirman (1999). Beban dari kendaraan akan didistribusikan melalui roda ke lapisan perkerasan, kemudian ke lapisan di bawahnya, dan akhirnya diterima oleh landasan jalan. Ketahanan, kekuatan, dan ketebalan dari lapisan konstruksi perkerasan sangat bergantung pada karakteristik dan kapasitas dukungan substrat.

II.1.2 Jenis Perkerasan Jalan

Proses pembangunan jalan raya melibatkan serangkaian tahapan pekerjaan. Saat ini, jalan raya tersebut diperkuat dengan lapisan konstruksi yang memiliki kekuatan, ketebalan, kekakuan, dan stabilitas tertentu. Hal ini bertujuan untuk memastikan pemindahan muatan kendaraan secara aman di sepanjang jalan.

Sukirman (1999) membagi bahan pengikat dalam konstruksi perkerasan jalan menjadi:

1. Perkerasan lentur (*flexible pavement*)

Perkerasan lunak adalah jenis permukaan jalan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Lapisan perkerasan ini berfungsi untuk menopang dan menyalurkan beban lalu lintas pada jalan tersebut.

2. Perkerasan kaku (rigid pavement)

Perkerasan jalan adalah lapisan yang menggunakan semen (semen Portland) sebagai bahan pengikatnya. Pelat beton, yang bisa dilengkapi atau tidak dengan tulangan, ditempatkan di atas penyangga dengan atau tanpa pondasi. Sebagian besar beban lalu lintas ditopang oleh pelat beton tersebut.

3. Perkerasan komposit (composite pavement)

Perkerasan campuran merupakan gabungan antara perkerasan keras dengan perkerasan lunak pada perkerasan keras atau perkerasan keras pada perkerasan lunak.

Tabel 2.1 Perbedaan Antara Perkerasan Kaku Dan Perkerasan Lentur (Sukirman, 1999)

No	Keterangan	Perkerasan Kaku	Perkerasan Lentur
1	Bahan pengikat	Semen	Aspal
2	Repatisi beban	Timbul retak-retak pada permukaan	Timbul <i>rutting</i> (lendutan pada jalur roda)
3	Penurunan tanah dasar	Bersifat sebagai balok di atas perletakan	Jalan bergelombang (mengikuti tanah dasar)
4	Perubahan temperature	Modulus kekakuan tidak berubah dan timbul tegangan dalam yang besar	Modulus kekakuan berubah dan timbul tegangan dalam yang kecil

II.2 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam atau coklat tua yang berbentuk padat hingga relatif padat pada suhu kamar. Apabila dipanaskan sampai suhu tertentu, aspal dapat menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel-partikel agregat pada saat pembuatan beton aspal atau dapat menembus rongga-rongga yang ada dengan cara disemprotkan/dipercikan ke permukaan perkerasan yang hancur atau meleleh. Ketika suhu mulai menurun, aspal mengeras dan mengikat agregat di tempatnya (sifat termoplastik) (Sukirman, 1999).

Aspal sebagai salah satu bahan konstruksi permukaan jalan lunak, merupakan komponen kecil, biasanya hanya 4-10% atau 10-15% volumenya, namun merupakan komponen yang relatif mahal. Aspal merupakan proses pemurnian residu minyak bumi tingkat lanjut, setiap produk minyak bumi menghasilkan residu yang terdiri dari komponen aspalten yang berbeda. Komponen utama aspal dibedakan menurut:

- 1) Bahan utama aspal (*asphaltic base crude oil*)
- 2) Bahan utamar parafin (*parafin base crude oil*)
- 3) Bahan utama campuran (*mixed base crude oil*)

Aspal, juga dikenal sebagai bitumen, adalah cairan kental yang merupakan senyawa hidrokarbon dengan sejumlah kecil belerang, oksigen, dan klor. Bitumen atau aspal terdiri dari campuran hidrokarbon dengan berat molekul yang tinggi, dengan persentase bahan yang berbeda tergantung pada sumber minyak dan proses penyulingannya. Sebelum eksploitasi ladang minyak dimulai, aspal telah dikenal sebagai produk alami yang disebut aspal alam. Bitumen, yang merupakan produk sampingan dari penyulingan minyak, dapat mengalami proses fisik dan kimia yang mengubah komposisinya dan memberikannya sifat-sifat tertentu. Proses yang umum dilakukan adalah oksidasi dan pencampuran dengan berbagai polimer. Akibatnya, aspal akan mengeras.

Aspal adalah bahan yang sangat kompleks dan memiliki sifat kimia yang kompleks. Ini cair ketika dipanaskan dan membentuk cairan. Aspal terutama terdiri dari senyawa karbon jenuh dan tak jenuh, alifatik dan aromatik, dengan jumlah atom karbon per molekul yang bisa mencapai 150. Selain karbon dan hidrogen, aspal juga mengandung nitrogen, oksigen, belerang, dan komponen lainnya. Secara kuantitatif, sekitar 80% dari massa aspal terdiri dari karbon, 10% hidrogen, 6% sulfur, sementara sisanya terdiri dari oksigen, nitrogen, serta jejak besi, nikel, dan vanadium. Senyawa ini biasanya dikelompokkan menjadi bitumen (dengan berat molekul rendah) dan maltens (dengan berat molekul tinggi). Biasanya, aspal mengandung antara 5 hingga 25% bitumen. Mayoritas senyawa yang terdapat dalam aspal bersifat polar (Eater, 2015).

Aspal bertindak sebagai perekat agregat karena kemampuannya yang sangat melekat, tahan air, dan mudah dikerjakan. Sifat plastisitasnya memungkinkannya untuk dengan mudah berinteraksi dengan agregat yang dicampurkan. Selain itu, aspal bersifat termoplastik yang membuatnya dapat meleleh atau melunak saat dipanaskan ke suhu tertentu, sehingga memungkinkan partikel-partikel agregat untuk meresap satu per satu. Ini memungkinkan campuran aspal untuk menembus pori-pori yang muncul akibat penyemprotan atau perendaman perkerasan kerikil saat suhu turun. Setelah itu, aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya, biasanya dalam kisaran 4-10% berat atau 10-15% volume (Anasaff, 2015).

Bitumen, yang merupakan salah satu komponen kunci dari aspal, sering kali disebut sebagai hidrokarbon. Karena alasan ini, aspal sering juga dikenal sebagai bitumen. Bitumen adalah substansi berwarna hitam yang lengket, memiliki sifat keras dan cair, serta memiliki kemampuan perekatan yang baik dan tidak larut dalam air. Saat ini, aspal dari Pulau Buton menjadi yang paling umum digunakan.

Aspal bekas terbuat dari sisa minyak, aspal semen, yang berikatan dengan campuran agregat dan membentuk lapisan yang tahan terhadap air, asam, basa dan garam, sehingga bila digunakan sebagai perekat sintetik akan

memberikan hasil yang baik untuk campuran aspal. Kinerja aspal yang buruk, sering kali disebabkan oleh pelapukan dan penuaan, adalah kekerasan dan kerapuhan. Seiring berjalannya waktu, daya rekat antara agregat dan aspal semakin berkurang. Sifat-sifat tersebut dapat dihindari jika konversi aspal dilakukan sesuai dengan langkah-langkah proses konversi yang baik dan jika sifat-sifat aspal yang dihasilkan dipelajari dan dipahami.

II.2.1 Jenis Jenis Aspal

Berdasarkan cara memperolehnya, aspal dapat dibedakan atas :

1. Aspal alam

Di Indonesia, aspal alam yang dikenal dengan nama Aspal Buton (Asbuton) banyak ditemukan di Kepulauan Buton, Sulawesi Tenggara. Asbuton asbuton diperoleh dari minyak bumi yang merendam batu kapur berpori, kemudian mengalami proses yang sangat panjang dan terbentuk secara alami, menguapkan sebagian kecil minyaknya, mula-mula menguapkan gasnya, kemudian Geselin, Corsen, Diesel dan terakhir bitumennya. masih tersisa di batu kapur. Berdasarkan kadar aspalnya, aspal kancing dibedakan dengan kode B10, B13, B16, B25, B30 (aspal kancing B10 merupakan aspal kancing dengan kadar aspal rata-rata 10%) (Sukirman, 2003).

2. Aspal buatan

Aspal buatan, yaitu bitumen yang merupakan produk/sisa penyulingan minyak bumi dan mengandung parafin dengan kadar dan biaya yang rendah, disebut sebagai minyak mentah berbahan dasar parafin. Aspal buatan ini juga sering disebut aspal minyak bumi yang banyak mengandung gugus aromatik dan selestial, sehingga persentase aspalnya tinggi dan persentase parafinnya rendah. Aspal buatan terdiri dari berbagai macam bentuk yaitu padat/keras, cair, emulsi dan tar.

1) Aspal keras

Aspal panas/keras (Asphalt Cement/AC) adalah jenis aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan panas. Ketika disimpan pada suhu ruangan, aspal ini berbentuk padat. Biasanya, pada suhu ruangan sekitar 25-30°C, aspal ini berada dalam bentuk padat. Jenis aspal semen

bervariasi tergantung pada proses pembuatannya dan sumber minyak bumi asalnya. Di Indonesia, aspal semen dibedakan berdasarkan nilai penetrasinya, yang meliputi:

- a. AC pen 40/50, yaitu AC dengan penetrasi antara 40-50.
- b. AC pen 60/70, yaitu AC dengan penetrasi antara 60-70.
- c. AC pen 85/100, yaitu AC dengan penetrasi antara 85-100
- d. AC pen 120/150, yaitu AC dengan penetrasi antara 120-150.
- e. AC pen 200/300, yaitu AC dengan penetrasi antara 200-300

aspal penetrasi rendah dimanfaatkan pada cuaca panas atau di daerah lalu lintas padat, sedangkan aspal semen penetrasi tinggi digunakan pada cuaca dingin atau di daerah dengan lalu lintas sedikit. Penetrasi aspal semen yang biasa digunakan di Indonesia biasanya berkisar antara 60/70 hingga 80/100. Aspal keras yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal dengan tingkat penetrasi 60/70. Persyaratan aspal untuk rasio penetrasi 60/70 tercantum pada tabel di bawah.

Tabel 2.2 persyaratan Aspal dengan penetrasi 60/70 (revisi SNI 03-1737-1983)

No	Jenis Pengujian	Metode	Persyaratan
1	Penetrasi, 25°C; 100 gr; 5 detik; 0,1 mm	SNI 06-2456-1991	60-79
2	Titik lembek, °C	SNI 06-2434-1991	48-58
3	Titik nyala, °C	SNI 06-2433-1991	Min. 200
4	Daktalitas 25°C, cm	SNI 06-2432-1991	Min. 100
5	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	Min. 1,0
6	Kelarutan dalam <i>trichlor ethylene</i> , % berat	RSNI M-04-2004	Min. 99
7	Penurunan berat (dengan TFDT), % berat	SNI 06-2440-1991	Mak. 0,8

8	Penetrasi setelah penurunan berat, % asli	SNI 06-2456-1991	Min. 54
9	Daktalitas setelah penurunan berat, % asli	SNI 06-2432-1991	Min. 50
10	Uji noda aspal a. Standar naptha b. Naptha xylene c. Hephtane xylene	SNI 06-6885-2002	Negatif
Catatan : Apabila uji noda aspal disyaratkan, Direksi Teknis dapat menentukan salah satu pelarut yang akan digunakan			

2) Aspal cair

Aspal cair adalah campuran semen aspal dan pengencer dan diproduksi selama penyulingan minyak bumi. Aspal yang dipotong dengan cara ini berbentuk cair pada suhu kamar. Berdasarkan kemudahan pelarutan dan penguapan pelarut, aspal cair dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Sukirman, 2003):

a. RC (*Rapid Curing Cut Back*)

Semen aspal larut dalam bensin atau super. RC adalah Cut Back yang paling cepat menguap.

b. MC (*medium curing*)

Merupakan semen bitumen yang dilarutkan dalam bahan cair yang lebih kental dari minyak tanah, dengan tingkat penguapan sedang.

c. SC (*Slow curing*)

Merupakan semen aspal yang dilarutkan dengan material yang lebih kental seperti solar. Aspal jenis ini merupakan aspal pemotongan yang paling lama menguap.

3. Aspal emulsi

Aspal emulsi merupakan pencampuran antara aspal dan air, dimana aspal yang telah diemulsi mengandung bahan pengemulsi yang lebih cair sehingga partikel aspal dapat larut dalam air. Untuk mencegah partikel aspal saling tarik menarik dan membentuk partikel besar, maka partikel tersebut diberi muatan listrik. Berdasarkan kandungan yang terkandung dalam dungya dibedakan menjadi :

- a. *Kationik* merupakan aspal emulsi asam, ialah aspal emulsi yang bermuatan listrik positif.
- b. *Anionik* adalah juga aspal emulsi alkali, merupakan aspal emulsi yang bermuatan listrik negatif.
- c. *Nanionik* disebut juga sebagai aspal emulsi yang tidak mengalami ionisasi, berarti tidak menghantarkan listrik.

Aspal emulsi anionik dan kationik umumnya digunakan sebagai bahan perkerasan jalan. Berdasarkan kecepatan pengerasannya, aspal dibedakan menjadi:

- a. *Rapid selling* (RS), aspal yang mengandung bahan pengemulsi sehingga pengikatan terjadi begitu cepat.
- b. *Medium setting* (MA), jenis aspal yang penguapannya cepat.
- c. *Slow setting* (SS), jenis aspal emulsi yang paling lambat menguap.

4. Ter

Ter biasa disebut sebagai cairan yang diperoleh dari mineral organik seperti batu atau kayu dengan cara digiling atau disuling pada suhu tinggi tanpa asam. Pada saat yang sama, hanya tar batubara yang digunakan dalam pembangunan jalan, karena jumlah tar kayu sangat sedikit.

5. Aspal karet

Aspal karet dibuat dengan menambahkan karet ke aspal minyak bumi. Aspal dapat digunakan dalam bentuk aspal semen, aspal cair, atau aspal emulsi, sedangkan karet dapat berupa karet butiran, karet padat, atau karet cair.

II.2.2 Komposisi Aspal

adalah zat berwarna hitam atau coklat tua yang larut dalam heptana, cairan kental yang terdiri dari resin dan minyak. Resin merupakan cairan berwarna kuning atau coklat tua yang melekat pada aspal dan mudah hilang atau rusak pada saat pemeliharaan jalan. Ketika minyak ringan digunakan sebagai cairan dan aspal serta aspal digunakan, faktor kimia yang mempengaruhi konsentrasi fisik aspal menjadi dasar untuk memahami faktor-faktor yang mengendalikan penggunaan aspal (Sukirman, 2003). Komposisi kimia rasio infiltrasi aspal 60/70 tercantum pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.3 contoh komponen fraksional di indonesia, beton aspal campuran panas (sukirman, 2003)

Unsur kimia	<i>Asphalt Cement Penetrasi 60/70</i>
<i>Asphalt</i>	22,41%
<i>Maltene</i>	-
<i>Basa Nitrogen</i>	24,90%
<i>Accidafin – I (A1)</i>	14,50%
<i>Accidafin – I (A2)</i>	18,97%
<i>Parafin (P)</i>	19,22%

Aspal yang dipakai pada konstruksi perkerasan jalan juga memiliki fungsi sebagai berikut ini (sukirman, 2003):

1. Menjadi pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat serta aspal itu sendiri.
2. Sebagai bahan pengisi, memuat rongga antara butiran-butiran agregat dan pori-pori yang ada pada agregat itu sendiri.

Dengan fungsi demikian, artinya aspal harus memiliki sifat-sifat yang baik. Adapun sifat sifat aspal antara lain (sukirman 2003):

1. Daya tahan (*durabilitas*)

Daya tahan aspal adalah kemampuan aspal untuk mempertahankan sifat aslinya ketika terkena unsur-unsur sepanjang umur jalan. Ciri-ciri tersebut adalah jenis campuran aspal, tergantung pada agregat, campuran agregat dan aspal, serta proses finishingnya.

2. Adhesi dan kohesi

Adhesi adalah kemampuan aspal untuk berikatan dengan agregat sehingga membentuk ikatan yang baik antara agregat dengan aspal, sedangkan adhesi adalah kemampuan elastis aspal dalam menahan agregat pada tempatnya setelah dilakukan pengisian.

3. Kepekaan terhadap temperature

Karena aspal mempunyai sifat termoplastik, ia menjadi cair bila dipanaskan dan mengental atau mengeras seiring turunnya suhu. Sensitivitas aspal terhadap perubahan sifat akibat perubahan suhu disebut sensitivitas suhu.

4. Kekerasan aspal

Pencampuran aspal dengan agregat atau penyemprotan aspal panas pada permukaan agregat yang telah disiapkan untuk peleburan berlangsung pada suhu yang relatif tinggi. Oksidasi terjadi pada saat pelaksanaan sehingga menyebabkan aspal melunak dan kemudian menjadi rapuh. Semakin tipis lapisan aspal maka semakin besar derajat kerapuhannya.

II.2.3 Jenis Campuran Panas Aspal Beton

berdasarkan pencampuran aspal beton yang ada diantaranya sebagai berikut, (sukirman, 2003)

1. Beton aspal (Laston) merupakan salah satu jenis beton aspal kontinu yang sering digunakan pada jalan dengan kepadatan lalu lintas padat. Laston dikenal juga dengan sebutan AC (Asphalt Concrete), ciri utama beton yang terkandung dalam campuran ini adalah kestabilannya. Ketebalan minimum Laston adalah 4 hingga 6 cm, tergantung tugasnya. Laston menawarkan 3 jenis campuran, yaitu:
 - a. Laston merupakan lapisan aus disebut juga AC-WC (Asphalt Concrete – Wearing Concrete) dengan ketebalan minimal 4 cm. Meskipun AC-WC

tidak memberikan beban, namun dapat meningkatkan ketahanan perkerasan terhadap degradasi, sehingga memperpanjang umur seluruh struktur perkerasan.

- b. Laston menjadi lapisan pondasi yang disebut AC-Base (Asphalt Concrete-Base) dengan ketebalan minimal 6 cm. Lapisan ini membentuk lapisan pelapis di bawah lapisan adhesi (AC-BC). Permukaan jalan tidak secara langsung bergantung pada kondisi cuaca tetapi harus cukup tahan lama untuk menahan beban lalu lintas yang disalurkan oleh roda. Perbedaanannya terletak pada jenis skala agregat dan konsentrasi aspal yang digunakan. Upper Laston atau Lapisan Pondasi Atas (AC-Base) merupakan pondasi jalan yang terbuat dari campuran agregat dan aspal yang dicampur dan dipadatkan dengan perbandingan tertentu pada kondisi panas. Peran dasar jalan (AC-Base) adalah untuk menopang lapisan permukaan, mengurangi perambatan tegangan dan deformasi serta menyalurkan beban ke struktur jalan di bawahnya (lapisan tanah).
2. Lapisan tipis aspal beton (*Lataston*) merupakan beton aspal bergradasi berlawanan. Ditujukan untuk jalan-jalan lalu lintas yang ringan dan sedang, ini juga sering disebut dengan *HRS (Hot Rolled Sheet)* tebal minimum 3 cm.
3. Aspal pasir tipis (*Latasir*) adalah aspal beton yang ditujukan untuk jalan dengan lalu lintas rendah, terutama dimana agregat besar tidak tersedia atau sulit diperoleh. Lapisan ini memiliki ketahanan terhadap penurunan permukaan tanah yang rendah.
4. *ATB (Asphalt Treated Base)* merupakan lapisan yang terkhusus di formalasikan untuk menambah keawetan dan kelelehan.

mencapai kemampuan mengalir aspal yang cukup untuk memungkinkan campuran merata. Campuran panas biasanya dibuat di pabrik dan kemudian diaplikasikan di lokasi. Setelah campuran panas diaplikasikan, campuran panas tersebut dipadatkan menggunakan mesin pemadatan. Spesifikasi Campuran AC-WC Laston diberikan pada tabel di bawah ini menggunakan spesifikasi konstruksi.

Tabel 2.4 ketentuan campuran laston AC-WC

Sifat-sifat Campuran		Laston AC-WC	
Kadar aspal efektif (%)		5,1	4,3
Penyerapan aspal (%)	Maks	1,2	
Jumlah tumbukan		2x75	
Rongga dalam campuran (VITM) (%)	Min	3,5	
	Maks	5,0	
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15	
Rongga terisi aspal (VFWA) (%)	Min	65	
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800	
	Maks	-	
Pelelehan (mm)	Min	3	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	250	

Sumber: spesifikasi bina marga 2010

Table 2.5 ketentuan campuran laston AC-WC yang dimodifikasi

Sifat-sifat Campuran		Laston AC-WC	
Kadar aspal efektif (%)		4,5	
Penyerapan aspal (%)	Maks	1,2	
Jumlah tumbukan		2x75	
Rongga dalam campuran (VITM) (%)	Min	3,0	
	Maks	5,5	
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15	
Rongga terisi aspal (VFWA) (%)	Min	65	
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800 kg	
	Maks	-	
Pelelehan (mm)	Min	3	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	300	

Sumber: spesifikasi bina marga 2010

Beton aspal adalah campuran panas dengan agregat dengan ukuran partikel kontinu. Beton aspal merupakan campuran agregat yang diproduksi secara hati-hati dan tersedia dalam ukuran besar dan kecil. Tujuannya adalah untuk mencapai porositas yang terkendali dengan baik dan jumlah aspal yang ditambahkan bergantung pada porositas yang dibutuhkan oleh lalu lintas dan kondisi iklim.

Stabilitas campuran ini dicapai dengan menjalin bahan aditif yang digunakan. Semakin banyak aspal yang digunakan maka umur campuran akan semakin lama, namun sebaliknya rongga udara pada campuran padat juga semakin berkurang. Jika pori-pori udara pada campuran padat mengecil. Jika aliran udara melebihi batas minimum, maka wilayah udara sama dengan nol karena adanya tambahan beban lalu lintas. Kebocoran terjadi di sini karena pada kondisi seperti itu aspal tidak hanya berfungsi sebagai bahan pengikat, tetapi juga sebagai pelumas sehingga melemahkan daya dukungnya.

II.3 Agregat

(Sukirman, 1999). Agregat dapat dibedakan berdasarkan proses pengolahan : Pembagian agregat berdasarkan pengolahannya dapat berupa agregat alam, agregat yang melalui proses pengolahan, dan agregat buatan.

1. Agregat alam

Agregat alam merupakan agregat yang dapat langsung digunakan dalam bentuk aslinya atau hanya memerlukan sedikit pengolahan. Bentuk agregat alami ini bergantung pada proses pembentukan yang terjadi melalui erosi dan dekomposisi. Aliran sungai mengikis material batuan sehingga membuat permukaan menjadi licin sehingga menyebabkan erosi dan keruntuhan. Aliran sungai menyebabkan erosi pada agregat sehingga permukaannya halus dan retakan pada perbukitan menjadikan permukaan agregat bersudut dan kasar. Dua jenis agregat alam yang umum digunakan adalah kerikil dan pasir.

2. Agregat yang melalui proses pengolahan

Masih banyak sekali agregat yang biasa dijumpai di alam berupa batuan

gunung, batuan sungai besar yang harus dihancurkan terlebih dahulu sebelum dapat dijadikan agregat dalam pembangunan jalan. Tujuan dan solusinya adalah untuk mendapatkan bentuk butiran bersudut, sebaiknya berbentuk kubus. Oleh karena itu, partikel besar yang diperoleh harus mempunyai permukaan yang kasar agar diperoleh gesekan yang baik dan gradasinya juga harus memuaskan. Penghancuran agregat harus dilakukan dengan stone crusher agar partikel yang terbentuk dapat dikontrol.

3. Agregat buatan

Agregat buatan berupa mineral *filler* atau pengisi (partikel dengan volume < 0,075 mm), diperoleh dan hasil sampingan pabrik semen dan mesin pemecah agregat.

II.3.1 Gradasi Agregat

Grading adalah susunan partikel agregat berdasarkan ukuran partikelnya dan dinyatakan dalam persentase terhadap massa total yang diperoleh dari hasil analisis ayakan (1 set ayakan) dengan memasukkan beberapa material dari curah besar ke jumlah kecil melalui serangkaian proses. saringan untuk menimbanginya. berat bahan di setiap filter. Ukuran atau distribusi partikel agregat penting dalam menentukan stabilitas jalan. Ukuran agregat mempengaruhi besar kecilnya rongga antar partikel pada saat pembangunan jalan (Sukirman, 1999). Agregat dapat dibedakan sebagai berikut:

1. Gradasi rapat(*dense graded*)

Merupakan jenis material batuan yang ukuran butirnya bervariasi dari kasar hingga halus dan terdistribusi secara merata dalam rentang ukuran butir atau biasa disebut dengan kontinum ukuran butir. Campuran bergradasi ini menunjukkan sifat penyegelan yang lebih baik untuk kepadatan curah yang lebih tinggi dan stabilitas yang tinggi. Program konferensi dapat dikonsultasikan

2. Gradasi seragam (*uniform graded*)

Agregat adalah suatu agregat yang hanya terdiri dari partikel-partikel agregat

yang berukuran sama atau hampir sama atau mengandung sedikit agregat halus yang tidak dapat mengisi ruang antar agregat. Campuran aspal dibuat dari agregat berkualitas tinggi dengan banyak pori, permeabilitas tinggi, stabilitas rendah, dan kepadatan rendah.

3. Gradasi senjang

merupakan suatu agregat yang distribusi ukuran partikelnya tidak kontinu atau tidak mempunyai ukuran tertentu walaupun kecil. Dalam hal ini agregat dengan proporsi yang heterogen akan menghasilkan kualitas lapisan perkerasan yang rata-rata dibandingkan kedua jenis di atas.

Pada penelitian ini grade yang digunakan pada campuran AC-WC adalah grade Laston, grade padat, dan grade differential berdasarkan spesifikasi umum Highway 2010 seperti terlihat pada tabel berikut.

Tabel 2.6 ketentuan gradasi rapat

Ukuran Saringan		Berat yang Lolos (%)
ASTM	(mm)	
1 "	25	-
3/4 "	19	100
1/2 "	12,5	90 - 100
3/8 "	9,5	72 - 90
No. 4	4,75	43 - 63
No. 8	2,36	28 - 39,1
No. 16	1,18	19 - 25,6
No. 30	0,600	13 - 19,1
No. 50	0,300	9 - 15,5
No. 100	0,150	6 - 13
No. 200	0,075	4 - 10

Sumber. Spesifikasi Bina Marga.2010

Tabel 2.7 ketentuan gradasi senjang

Ukuran Saringan	Berat yang Lolos (%)
-----------------	----------------------

ASTM	(mm)	
1 "	25	-
3/4 "	19	100
1/2 "	12,5	90 - 100
3/8 "	9,5	75 - 85
No. 4	4,75	-
No. 8	2,36	50 - 72
No. 16	1,18	-
No. 30	0,600	35 - 60
No. 50	0,300	-
No. 100	0,150	-
No. 200	0,075	6 - 10

Sumber. spesifikasi bina marga 2010

II.3.2 Ukuran Butiran Agregat

Pemisahan butiran agregat berdasarkan analisis saringan bertujuan untuk mencapai kondisi permukaan jalan yang optimal. Berdasarkan ukuran butirnya, agregat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat kasar dan agregat halus.

1. Agregat kasar

Agregat kasar adalah agregat yang tertahan pada saringan 2,36 mm (#8) atau lebih besar dari #. 4 (4,75mm) yang dibasahi dan harus keras, bersih, bebas dan tahan terhadap tanah liat atau bahan lainnya. Agregat kasar yang digunakan dalam pengujian harus dihancurkan atau kerikil dan diberikan dalam ukuran standar.

Agregat kasar ini memberikan stabilitas permukaan yang lebih tinggi dan memiliki tingkat ketahanan slip yang tinggi untuk menjamin keselamatan berkendara. Agregat berbentuk partikel kasar memudahkan pemadatan namun memiliki stabilitas yang rendah, sedangkan agregat bersudut sulit

dipadatkan namun memiliki stabilitas yang tinggi. Agregat kasar harus memiliki ketahanan aus bila digunakan sebagai campuran lapangan yang dapat dipakai. Oleh karena itu, nilai Uji Abrasi Los Angeles harus dipenuhi berdasarkan peraturan Jalan Raya Divisi VI 2010.

. Adapun spesifikasi gradasi agregat kasar yang sudah ditetapkan seperti terlihat pada tabel berikut ini.

2. Agregat halus

Agregat halus terbentuk bila batuan mempunyai sifat yang lolos saringan numerik. 1 hancur. 8 (2,36 mm) atau secara keseluruhan lebih kecil dari saringan No. 4 (4,75 mm). Pasir alam atau agregat buatan dapat digunakan sebagai agregat halus untuk campuran AC, proporsinya tidak melebihi 15% dari total berat campuran. Fungsi utama agregat halus adalah untuk menjamin stabilitas dan mengurangi deformasi permanen jalan melalui interlocking dan gesekan antar agregat. Sifat luar yang diperlukan untuk ini adalah sudut dan kekasaran permukaan partikel. Dan agregat yang baik haruslah bersih, keras, liat atau bahan lain yang tidak diinginkan. Kerikil yang baik harus diperoleh dari material yang memenuhi persyaratan dan peraturan mutu Jalan Raya 2010.

Dalam penelitian ini agregat yang digunakan adalah agregat kasar dan agregat halus yang berdasarkan dengan spesifikasi bina marga 2010 yang ditunjukkan pada tabel berikut

Tabel 2.8 , ketentuan agregat kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekakuan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat		SNI 3470:2008	Maks. 12%
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	Campuran AC bergradasi	SNI 2417:2008	Maks. 30%
	Semua Campuran aspal bergradasi		Maks. 40%

	lainnya		
Kelekatan Agregat terhadap aspal		SNI	Maks. 90%
Angularitas (kedalaman dari permukaan <10 cm)		DotT's Pennsylvania Test Method, PTM No.621	95/90*
Angularitas (kedalaman dari permukaan ≥10 cm)			80/75*
Partikel Piipih dan Lonjong		ASTM D4791 Perbandingan 1:5	Maks. 10%
Material lolos ayakan No.200		SNI 03-4142-1996	Maks 1%

Sumber : spesifikasi bina marga 2010

Tabel 2.9 , ketentuan agregat halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min 50% untuk SS, HRS dan AC bergradasi Halus Min 70% untuk AC bergradasi Kasar
Material Lolos Ayakan No.200	SNI 03-4428-1997	Maks. 8%
Kadar Lempung	SNI 3423 : 2008	Maks. 1%
Angularitas (kedalaman dari permukaan <10 cm)	AASHTO TP-33 atau ASTM C1252-93	Min. 45
Angularitas (kedalaman dari permukaan $\geq$ 10 cm)		Min. 40

Sumber : spesifikasi bina marga 2010

Untuk memenuhi standar gradasi agregat yang optimal, perlu mematuhi persyaratan yang telah ditetapkan dalam spesifikasi. Contoh spesifikasi gradasi campuran aspal AC-BC yang telah ditetapkan dan menjadi patokan dapat ditemukan dalam tabel berikut ini.

Tabel 2. 10, Spesifikasi Gradasi Campuran Beton Aspal

Ayakan		Gradiasi Halus	Gradiasi Kasar
No. Saringan	Ukuran saringan (mm)	-	-
1 1/2 "	3,750	-	-
1"	25,000	100	100
3/4 "	19,000	90-100	90-100
1/2 "	12,500	74-90	71-90
3/8 "	9,500	64-82	58-80
No. 4	4,750	47-64	37-56
No. 8	2,360	34,6-49	23-34,6
No. 16	1,180	28,3-38	15-22,3
No. 30	0,600	20,7-28	10-16,7
No. 50	0,300	13,7-20	7-13,7
No. 100	0,1500	4-13	5-11
No. 200	0,075	4-8	4-8

Sumber: Spesifikasi Umum Bidang Jalan, 2010

II.3.3 Bahan Pengisi Filler

Bahan pengisinya adalah abu mineral No. 200 mesh yang diayak. Jenis-1fly ash atau abu terbang, semen portland dan mineral non plastik lainnya. Untuk penimbunan aspal beton, berdasarkan karakteristik umum Bina Marga 2010, berlaku ketentuan bahwa penimbunan tambahan tidak boleh mengandung bahan yang tidak diinginkan dan tidak boleh menyatu. Debu batu dan bahan pengisi tambahan harus kering dan bebas dari kotoran dan harus mengandung setidaknya 75% berat bahan yang lolos filter #200 (75 mikron) ketika diuji dengan penyaringan sesuai dengan peraturan Jalan Raya 2010.

II.4 KAO (Kadar aspal optimum)

Kadar Aspal Optimum (KAO) merujuk pada jumlah aspal yang menghasilkan nilai keseluruhan sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan, sambil memberikan stabilitas paling optimal pada lapisan perkerasan, selama semua persyaratan lainnya terpenuhi, seperti nilai VIM, aliran, dan sebagainya.

Kadar aspal optimum dapat dikenali sebagai nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi semua kriteria untuk karakteristik campuran perkerasan jalan, dengan mempertimbangkan kadar aspal minimum.

Kadar aspal optimal diputuskan dengan menggabungkan nilai kadar aspal yang menghasilkan stabilitas dan kepadatan paling tinggi, bersama dengan nilai VIM-PRD yang memenuhi syarat. Kemudian, hasilnya diperiksa untuk memastikan bahwa persyaratan lainnya, seperti VMA, VFB, dan aliran campuran, telah sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan.

II.5 Sabut Kelapa

Kelapa adalah salah satu tanaman yang memiliki banyak kegunaan. Serat kasar yang terdapat pada bagian tengah kelapa, yang dikenal sebagai sabut kelapa, sering kali dianggap sebagai limbah dan hanya ditumpuk di bawah pohon kelapa untuk membusuk atau mengering. Pemanfaatannya biasanya terbatas pada penggunaan sebagai kayu bakar.

Gambar 2.2 limbah sabut kelapa



Sabut kelapa dapat dimanfaatkan sebagai campuran aspal. Selain mengurangi penggunaan pasir sebagai campuran aspal, pemanfaatan limbah juga dapat mengurangi limbah yang ada. Center for Forestry and Forest Standards (2020) menyatakan bahwa mengintegrasikan teknologi hijau ke dalam aplikasi yang menggunakan bahan baku dapat mengurangi polusi.

Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian terhadap sabut kelapa, karena sabut kelapa biasanya hanya berupa limbah dan kurang mendapat perhatian dalam daur ulangnya. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan memproduksi sabut kelapa sebagai campuran/pengganti yang diharapkan dapat meningkatkan kinerja campuran aspal lapis AC-WC.

II.6 Pengujian Marshall

Metode Marshall adalah suatu teknik pengujian yang digunakan untuk mengevaluasi stabilitas dan kemampuan deformasi plastis campuran aspal. Ini adalah metode yang paling umum digunakan dan telah distandarisasi. Dalam proses pengujian ini, terdapat tiga parameter kunci: beban maksimum yang dapat ditahan oleh sampel uji sebelum mengalami kegagalan (dikenal sebagai stabilitas Marshall), deformasi permanen sampel uji sebelum terjadi keruntuhan (disebut stabilitas Marshall), dan perbandingan dari keduanya yang dikenal sebagai Indeks Marshall (MQ).

Metode dan perangkat Marshall pertama kali diperkenalkan oleh Bruce Marshall dari Mississippi State Highway Department pada tahun 1948 dan kemudian dikembangkan oleh U.S. Corps of Engineers. Alat Marshall terdiri dari sebuah perangkat tekanan yang dilengkapi dengan proving ring berkapasitas 22,2 kN (5000 lbf) dan flowmeter. Proving ring digunakan untuk mengukur stabilitas, sementara flowmeter digunakan untuk mengukur kelelahan plastis atau flow. Sampel uji Marshall berbentuk silinder dengan diameter 4 inci (10,16 cm) dan tinggi 2,5 inci (6,35 cm). Melalui pengujian menggunakan alat Marshall, data mengenai stabilitas, kelelahan plastis (flow), persentase rongga dalam agregat, dan berat volume dapat diperoleh. Untuk memastikan bahwa campuran aspal panas memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga atau Departemen Pekerjaan Umum, pengujian dengan alat Marshall diperlukan.

Untuk mengetahui karakteristik campuran aspal dapat diketahui dari sifat-sifat Marshall yang ditunjukkan dengan parameter dibawah ini:

1. Stabilitas (*stability*)
2. Kelelahan (*flow*)
3. VIM (*void in the mix*)
4. VMA (*void in mineral agregat*)
5. MQ (*marshall quantient*)
6. VFB (*voids filler in bitumen*).

Pengujian Marshall memerlukan campuran yang memenuhi sejumlah persyaratan. Persyaratan untuk campuran laston dapat dirujuk pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Ketentuan Spesifikasi Lapisan Aspal AC/WC

Sifat-sifat Campuran	Persyaratan Campuran	Keterangan
VIM (%)	Min. 3,0	Memenuhi/ Tidak Memenuhi
	Maks. 5,0	
VMA (%)	Min. 14	Memenuhi/ Tidak Memenuhi
VFB (%)	Min. 65	Memenuhi/ Tidak Memenuhi
Stabilitas (Kg)	Min. 800	Memenuhi/ Tidak Memenuhi
<i>Flow</i> (mm)	Min. 2,0	Memenuhi/ Tidak Memenuhi
	Maks. 4,0	
<i>Marshall Quotient</i> (MQ) (Kg/mm)	Min. 250	Memenuhi/ Tidak Memenuhi

Sumber: Spesifikasi Bina Marga (2018)

II.6.1 Stabilitas (*stability*)

Stabilitas merujuk pada kemampuan suatu jalan untuk menahan deformasi yang disebabkan oleh beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi permanen seperti gelombang atau jejak roda. Faktor-faktor yang memengaruhi stabilitas termasuk bentuk, kualitas, struktur permukaan, dan ukuran partikel, yang mencakup gesekan antar agregat, ikatan antar agregat, daya rekat, dan kandungan aspal dalam campuran. Skor stabilitas dihitung berdasarkan nilai yang ditentukan oleh setiap penilaian. Untuk memperoleh nilai stabilitas yang akurat, nilai yang terbaca pada dial harus dikonversi ke unit yang sesuai dengan instrumen Marshall. Selain itu, alat Marshall sering menggunakan unit lbf (pound force), sehingga perlu disesuaikan dengan kilogram. Selain itu, nilai ini juga harus disesuaikan dengan ketebalan sampel atau koreksi volume.

$$O \times E' \times Q \dots\dots\dots(II.1)$$

Dimana :

Stability	= Stabilitas marshall (kg)
O	= Pembacaan arloji stabilitas (Lbf)
E'	= Angka korelasi volume benda uji
Q	= Kalibrasi alat marshall

II.6.2 Kelelehan (*Flow*)

Lelehan mewakili derajat deformasi yang terjadi pada lapisan kaku akibat tegangan yang diterapkan padanya. Nilai elastisitas yang tinggi berarti campuran bersifat lentur, sedangkan nilai elastisitas yang rendah berarti campuran bersifat kaku. Nilai saat ini tidak hanya menerima nilai kondisi tunak di atas tetapi juga sesuai dengan nilai terkait yang ditampilkan oleh meteran. Jarum pengatur meter biasanya diukur dalam milimeter (mm).

II.6.3 VIM (*vold in the mix*)

VIM (Void in the Total Mix) adalah persentase rongga udara dalam total volume campuran setelah kompresi. Nilai VITM akan semakin rendah jika rasio aspal semakin tinggi. Nilai VITM mempengaruhi kekuatan lapisan perkerasan jalan. Semakin tinggi nilai VITM maka porositas campuran semakin besar, artinya campuran tersebut berpori. Hal ini akan mengurangi kepadatan campuran, memudahkan air dan udara menembus pori-pori campuran, membuat aspal rentan terhadap oksidasi, mengurangi daya rekat antar partikel agregat, menyebabkan pemisahan partikel dan terkelupasnya permukaan.

$$VIM = 100 \times \frac{GMM - GMB}{GMM} \dots\dots\dots(II.2)$$

Keterangan :

Vim	= volume rongga dalam campuran
Gmm	= berat jenis maksimum campuran
Gmb	= berat jenis bulk campuran

II.6.4 VMA (Void in The Mineral Agregat)

Nilai densitas menunjukkan derajat kepadatan campuran yang dipadatkan. Semakin tinggi nilai kepadatannya, semakin baik kepadatannya. Dengan meningkatnya rasio aspal, jumlah aspal yang dapat mengisi ruang antar partikel juga meningkat sehingga membuat campuran menjadi lebih padat.

$$VMA = 100 \times \frac{GMB-PS}{GSB} \dots\dots\dots(II.3)$$

Keterangan :

VMA = Volume pori-pori yang berinteraksi dalam campuran

GMB = massa jenis campuran

PS = tingkat agregat

GSB = berat jenis agregat

II.6.5 MQ (Marshall Quotient)

Nilai hasil bagi atau nilai MQ Marshall adalah nilai hasil bagi Marshall, yaitu hasil bagi antara stabilitas dan aliran. Penggunaan nilai Marshall Quotient bertujuan untuk memperkirakan kekakuan perkerasan jalan. Ketika stabilitas tinggi dipadukan dengan aliran rendah, perkerasan menjadi keras dan rapuh. Sebaliknya, stabilitas yang rendah dan aliran yang tinggi menunjukkan campuran lebih elastis dan bila terkena beban lalu lintas maka perkerasan akan mengalami deformasi. Nilai Marshall Quotient minimal yang disyaratkan adalah 250 kg/mm³.

$$MQ = \frac{stability}{flow} \dots\dots\dots(II.4)$$

II.6.6 VFB (Voids Filler in Bitument)

VFB adalah volume ruang kosong antar partikel agregat yang terisi aspal dalam suatu campuran padat, dinyatakan dalam (%) dari total volume campuran. Spesifikasi VFB memerlukan kekuatan dan ketahanan air yang cukup.

$$FVB = 100 \times \frac{VMA-VIM}{VMA} \dots\dots\dots(II.5)$$

Keterangan:

- VFB = Rongga udara yang terisi aspal,
 Persentase dari VMA, (%)
- VMA = Rongga udara pada mineral agregat,
 Persentase dari volume total, (%)
- VIM = rongga udara pada campuran setelah
 Setelah pemadatan, (%)

II.7 Pengujian Cantabro

Uji cantabro dilakukan dengan memasukkan masing-masing sampel ke dalam mesin LA tanpa bola baja, kemudian diputar 300 rpm pada kecepatan 30-33 rpm. Tes cantabro dilakukan untuk mengevaluasi efek partikel lepas yang disebabkan oleh gesekan berulang kali pada roda. Pengujian ini memungkinkan untuk menentukan persentase kehilangan berat campuran aspal, menentukan derajat keausan campuran aspal dengan menerima beban, menggunakan rumus perhitungan.

$$nilai\ keausan = \frac{a-b}{2b} \times 100 \% \dots\dots\dots(II.6)$$

Dimana

- a = berat benda uji (gr)
- b = berat sampel setelah pengujian

II.7 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian berikut ini merupakan yang menjadi pedoman dalam penyusunan penelitian ini:

Meylis Safriani, Dian Febrianti, yang melakukan penelitian Analisis pengaruh penggunaan abu sabut kelapa sebagai *Filler* pada campuran aspal retona

blend 55 dengan menggunakan 4% abu sabut kelapa sebagai filler, benda uji kedua menggunakan 4,5% abu sabut kelapa sebagai filler, dan benda uji ketiga menggunakan 5% sebagai *filler*.

Penelitian oleh **Putra R.J, Rosli M.H dkk (2019)** dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik stabilitas Marshall dengan komposisi variasi abu tempurung kelapa yaitu 0%, 2%, 4%, 6% dan 8%. Didapatkan hasil terbaik yaitu pada persentase 2% sampai dengan 4%.

Retor Rante Tondok (2021) Penelitian tentang penggunaan serabut kelapa sebagai bahan lapisan permukaan jalan antara lain “Analisis Pengaruh Penggunaan Abu Sabut Kelapa Sebagai Filler Pada Campuran Aspal Retona Blend 55”. Diperoleh hasil penelitian pengaruh filler 4,5%-6,25%. [2]. “Uji Durabilitas Campuran AC-WC Menggunakan Kombinasi Limbah Plastik Dan Abu Serabut Kelapa Sebagai Filler”. Diperoleh hasil penelitian Nilai KAO yaitu, 5,31-5,81.

Sofia I, Sigid P. Hadiwardoyo dari Universitas Indonesia, Depok melakukan Jurnal penelitian dengan judul “**Penelitian efek limbah serabut kelapa pada modulus resilient aspal beton campuran panas** “Semakin meningkat nya kebutuhan aspal sebagai bahan pembangunan jalan, perlu ada nya upaya penghematan penggunaan aspal. Dalam penelitian ini dipertimbangkan penggunaan serat serabut kelapa sebagai bahan tambah pada aspal pan 60/70 yang di modifikasi. Serat-serabut yang digunakan adalah bahan sisa yang tidak terpakai. Proses untuk menentukan kombinasi campuran antara serat dan serabut kelapa dengan, uji kekuatan Laston, AC-WC dalam penelitian ini meliputi: uji karakteristik agregat, uji karakteristik aspal, uji marshall, uji stabilitas sisa dan uji modulus resilient dengan alat UMATTA. Pengujian UMATTA terhadap dua jenis campuran yang di teliti pada temperatur 25 °C, 30 °C, 45°C, +, !60°C menunjukkan bahwa nilai modulus relient menurun dengan peningkatan temperatur. Pada suhu pengujian 30°C campuran menggunakan aspal berserabut menghasilkan nilai modulus resilient (1743, 15 MPa) yang lebih tinggi dibanding

campuran menggunakan aspal pan 60/70 (826 ,24 MPa). Nilai modulus resilient aspal berserabut memiliki nilai 2.11 kali lebih tinggi dibandingkan aspal pan 60/70.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Waktu dan lokasi

Lokasi penelitian pada laboratorium teknik sipil universitas fajar makassarjl. Prof. abdurahman basamalah (ex racing centre) no. 101, karampuang, panakukang kota Makassar, Sulawesi selatan 90231, Indonesia. Pada bulan februari-maret 2024.

III.2. Alat dan Bahan

III.2.1 Alat

Alat yang akan digunakan pada pengujian aspal yaitu:

1. Alat uji berat jenis

Alat uji berat jenis yaitu (*picnometer, timbangan, pemanas*)

Alat yang akandigunakan pengujian agregat antara lain:

Alat pengujian agregat

Alat yang akan digunakan pada pengujian agregat sebagai berikut:

- 1) Automatic asphalt compactor
- 2) Alat pengujian marshall test
- 3) Mesin penggetar ayakan (sieve shaker)
- 4) Oven
- 5) Ayakan dengan nomor saringan 3/4, 1/2, 3/8, #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200
- 6) Timbangan (kapasitas 50 kg)
- 7) Bak perendam
- 8) Alat bantu
 1. Panic pencampur

2. Kompor pemanas
3. Ejector
4. Sendok pengaduk
5. Thermometer
6. Spatula
7. Kaos tangan
8. Timbangan
9. Kain lap

III.2.2 Bahan

Beberapa bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Sabut kelapa
2. Aspal minyak
3. Agregat halus
4. Agregat kasar
5. Filler

III.3 Pelaksanaan Penelitian

III.3.1 Prosedur pelaksanaan penelitian

Penelitian ini dimulai dengan tahap pendahuluan, yang mencakup penelaahan dokumen, identifikasi masalah yang muncul selama proses penelitian, penentuan tujuan dari masalah-masalah yang timbul, serta penentuan cakupan dan program penelitian dan pengembangannya. Tahap ini bertujuan untuk mengarahkan pembahasan temuan yang dihasilkan pada akhir penelitian.

1. Tahap persiapan bahan

Kegiatan penelitian ini dimulai dari tahap persiapan yaitu pengumpulan data berupa data primer yang diperoleh dari hasil percobaan yang dilakukan peneliti, sedangkan data sekunder dapat diambil dari dokumen terutama majalah tetapi bukan buku.

2. Tahap persiapan alat dan bahan

Sebelum melaksanakan kegiatan dilakukan penelitian terlebih dahulu untuk mempersiapkan alat dan bahan yang akan dipelajari di laboratorium. Kegiatan tersebut meliputi kegiatan penyelidikan lokasi bahan yang akan digunakan, kegiatan pengangkutan bahan dari lokasi pengangkutan bahan ke laboratorium.

3. Tahap pengujian sifat bahan

Sebelum melaksanakan kegiatan dilakukan penelitian terlebih dahulu untuk mempersiapkan alat dan bahan yang akan dipelajari di laboratorium. Kegiatan tersebut meliputi kegiatan penyelidikan lokasi bahan yang akan digunakan, kegiatan pengangkutan bahan dari lokasi pengangkutan bahan ke laboratorium.

III.3.2 Persiapan Bahan

Sebelum melakukan kegiatan penelitian terlebih dahulu dilakukan persiapan bahan-bahan yang akan diteliti di laboratorium. Dalam kegiatan ini mencakup kegiatan survey lokasi dari bahan yang digunakan, kegiatan mengangkut/mendatangkan bahan uji dari lokasi pengambilan bahan ke laboratorium.

III.3.3 Pembuatan benda uji

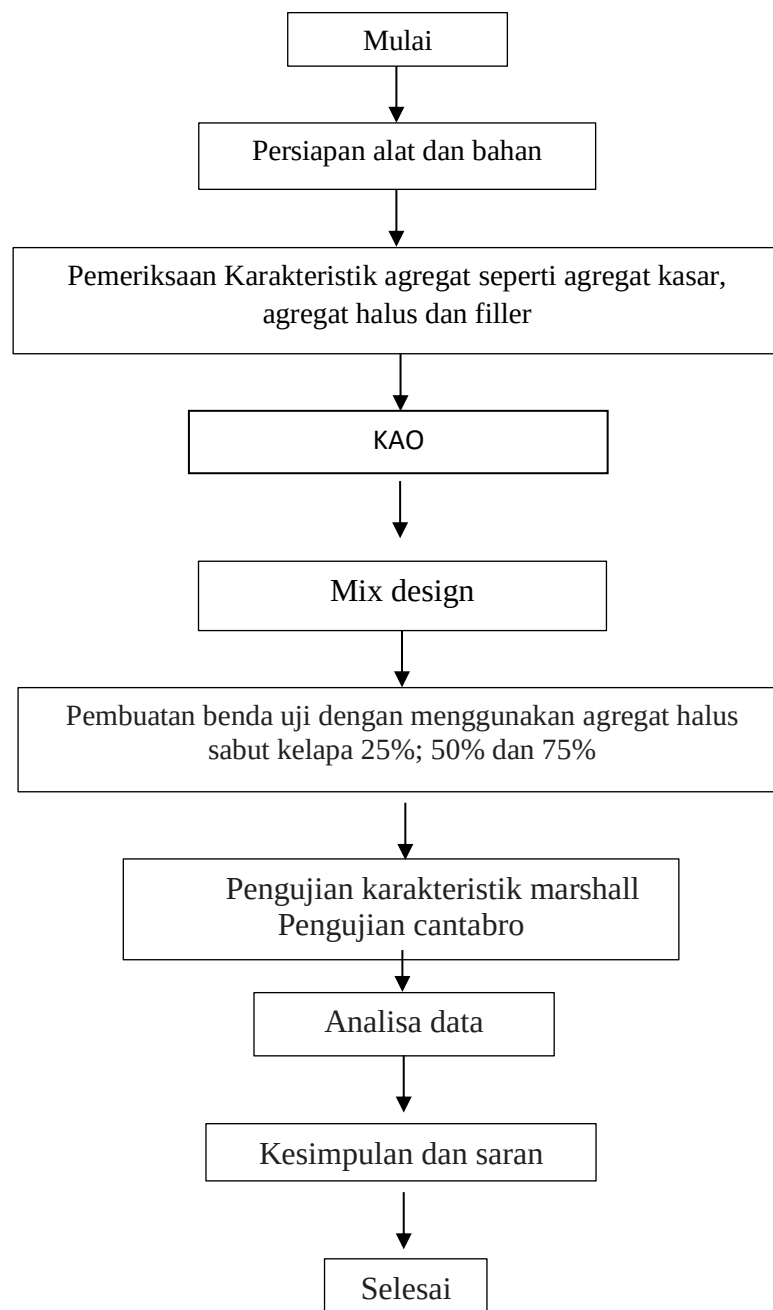
Pengujian yang dilakukan pada aspal meliputi pengujian komposisi aspal dan briket aspal. Setelah bahan diuji dan memenuhi spesifikasi campuran aspal, maka dibuatlah komposisi komposit untuk pembuatan benda uji. Komposisi campuran yang digunakan. Dalam penelitian ini komposisi campuran merupakan sistem pengukuran butiran terbuka yang mengacu pada ketentuan kadar campuran aspal yang diluluskan oleh Jalan Raya.

Langkah selanjutnya adalah pembuatan sampel untuk mendapatkan kadar aspal optimum. Dibuat sampel perkerasan aspal dengan bahan pengikat aspal minyak tipe 60/70, langkah berikutnya adalah pembuatan sampel dengan tambahan sabut kelapa 0%, 25%, 50% dan 75%.

Tabel 3. 1 Jumlah Sampel Pengujian

Pengujian	Kadar Variasi Filler kulit kelapa				Jumlah
	0%	25%	50%	75%	
Marshall	3	3	3	3	24
Cantabro	3	3	3	3	

Langkah-langkah pembuatan benda uji



Gambar III. 1 Bagan Alur Penelitian

III.3.4 Pengujian benda uji

A. Uji marshall

Dalam pengujian benda uji aspal dapat di uji dengan pengujian yaitu pengujian karakteristik marshall, cara-cara pengujian marshall sebagai berikut:

1. Timbang dan catat contoh uji briket
2. Rendam benda uji dalam air biasa selama ± 24 jam.
3. Keluarkan benda uji setelah direndam ± 24 jam, kemudian timbang benda uji dalam air dan keadaan kering.
4. Kemudian benda uji direndam dalam penangas air selama 30-40 menit pada suhu konstan 60oC.
5. Keluarkan benda yang akan diuji dari tangki perendaman dan letakkan di bagian bawah kepala tekan (waktu yang diperlukan sejak benda diangkat dari tangki perendaman tungku hingga mencapai beban maksimum tidak boleh melebihi 30 detik).
6. Pasang segmen atas di atas benda uji dan letakkan semuanya di dalam tester
7. Pasang pengukur aliran pada posisinya di atas salah satu pemandu dan setel putaran ke nol sementara selongsong terpasang erat ke ujung ejektor.
8. Sebelum memberikan beban, head tekanan dan benda yang akan diuji dinaikkan sehingga menyentuh dasar cincin uji.
9. Atur jarum jam ke nol.
- sepuluh. Beban diterapkan pada benda yang diuji dengan kecepatan konstan kira-kira 50 mm per menit sampai beban maksimum tercapai atau beban berkurang seperti yang ditunjukkan oleh jarum pengukur tekanan dan beban maksimum dicatat (stabilitas) telah tercapai.

11. Catat nilai laju aliran yang ditunjukkan oleh dial indikator ketika beban maksimum tercapai.

III.4 Metode pengumpulan data

Untuk memperoleh data sebagai bahan utama dalam penelitian ini, maka digunakan dua metode pengumpulan data sebagai berikut:

1. Penelitian kepustakaan, memperoleh data sekunder melalui membaca buku dan artikel ilmiah sebagai landasan teori untuk mencapai kesempurnaan dalam penelitian ini.
2. Pengujian sampel dilakukan di laboratorium untuk memperoleh data primer yang digunakan untuk menganalisis hasil penelitian yang dilakukan. Data dikumpulkan untuk penelitian ini dengan melakukan percobaan laboratorium.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian di laboratorium, dengan mengacu pada:

1. Standar nasional Indonesia (SNI)
2. Spesifikasi bina marga

III.4.1 Metode Design

Metodelogi yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

Pengujian sifat bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam campuran aspal terlebih dahulu diuji sifat masing-masing agregat kasar dan halus, cara pengujiannya berdasarkan standar nasional Indonesia dan pengujian ini dilakukan di laboratorium.

Tahap awal penelitian yang dilakukan laboratorium adalah memeriksa mutu bahan agregat yang akan digunakan pada percobaan campuran beraspal. Berikut adalah tahapan pengujian sifat bahan:

Pengujian material agregat

Tahap awal penelitian yang dilakukan di laboratorium adalah memeriksa mutu bahan-bahan dalam campuran aspal terlebih dahulu diuji karakteristiknya.

Table 3.2 pengujian dan metode pengujian agregat kasar

Pengujian	Metode pengujian
Analisa saringan	SNI 03-1970-1990
Berat jenis dan penyerapan	SNI 03-1969-1990
Berat volume	SNI 03-4804-1998
Kadar lumpur	SNI 03-4141-1996
Keausan agregat kasar	SNI 03-2417-1991

Tabel 3.3 pengujian dan metode pengujian agregat halus

Pengujian	Metode pengujian
Analisa saringan	SNI 03-1970-1990
Berat jenis dan penyerapan	SNI 03-1969-1990
Berat volume	SNI 03-4804-1998
Kadar air	SNI 03-4141-1996
Keausan organik	SNI 03-2417-1991

III.4.2 Pengujian Mix Design

Setelah dilakukan pengujian berat jenis agregat, serapan dan berat jenis aspal, maka dapat dihitung berat jenis agregat dan serapan serta serapan aspal dengan menggunakan rumus berat jenis, berat jenis semu, berat jenis efektif, dan menyerap aspal.

III.5 Analisa Data

Analisis data merupakan bagian yang sangat penting dalam metodologi penelitian karena melalui analisis data dapat diberikan makna dan makna yang berguna untuk memecahkan masalah penelitian. Analisis data merupakan tindakan peneliti untuk menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik.

Dalam penelitian ini analisis data yang diperoleh dari hasil percobaan yang disajikan dalam bentuk tabel, gambar dan grafik kemudian dianalisis. Analisis penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak penambahan limbah kulit kelapa.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Hasil Uji Karakteristik Material

IV.1.1 Hasil Uji Fisik Agregat

Sesuai dengan hasil pada pengujian karakteristik fisik agregat yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi syarat dalam pengujian mutu agregat secara menyeluruh. Proses pengujian telah dilakukan di lab Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Fajar.

IV.1.2 Hasil Fisik Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat yang berasal dari Stone Crusher yang terletak di Jalan Malino, Kecamatan Bontomarannu, Kabupaten Gowa. Hasil pengujian dari sifat fisik agregat kasar dilakukan sesuai dengan metode pengujian dari Standar Nasional Indonesia (SNI). Berikut dapat dilihat hasil pengujian pada tabel IV.1:

Tabel IV .1 Sifat – Sifat Fisik Agregat Kasar

No	Pengujian	Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Penyerapan air (%)	Maksimal 3	1.63	Memenuhi
2	Berat Jenis Spesifikasi (%)			
	1. Berat Jenis Bulk	Maksimal 3	2.75	Memenuhi
	2. Berat Jenis SSD	Maksimal 3	2.8	Memenuhi
	3. Berat Jenis Semu	Maksimal 3	2.88	Memenuhi
3	Keausan (%)	Maksimal 40	30.28	Memenuhi
4	Indeks Kepipihan	Maksimal 30	24.8	Memenuhi

IV.1.3 Sifat Fisik Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat yang lolos pada ayakan No.8, 16, 30, 50, 100, dan tertahan di saringan no .200, yang berasal dari Stone Crusher yang terletak di Jalan Malino, Kecamatan Bontomarannu, Kabupaten Gowa. Hasil pengujian dari sifat fisik agregat kasar dilakukan sesuai dengan metode pengujian dari Standar Nasional Indonesia (SNI). Dengan hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut.

TABEL IV.2 Sifat-Sifat Fisik Agregat Halus

No	Pengujian	Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Penyerapan air (%)	Maksimal 3	1.22	Memenuhi
2	Berat Jenis Spesifikasi (%)			

	1. Berat Jenis Bulk	Maksimal 3	2.58	Memenuhi
	2. Berat Jenis SSD	Maksimal 3	2.61	Memenuhi
	3. Berat Jenis Semu	Maksimal 3	2.67	Memenuhi
3	Persen Lumpur (%)	Maksimal 5	1.5	Memenuhi

IV.1.4 Sifat Fisik Sabut Kelapa

Hasil pengujian dari sifat fisik sabut kelapa dilakukan sesuai dengan metode pengujian dari Standar Nasional Indonesia (SNI). Agregat yang digunakan pada penelitian ini adalah sabut kelapa dari hasil pengujian di Laboratorium Universitas Fajar Makassar. Dengan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel IV.3.

TABEL IV.3 Sifat-Sifat Fisik Sabut Kelapa

No.	Pengujian	Nilai Interval	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Berat Jenis Spesifik (%)			
	a. Berat Jenis Bulk	Min. 1	2,52	Memenuhi
	b. Berat Jenis SSD	Min. 1	2,58	Memenuhi
	c. Berat Jenis Semu	Min. 1	2,68	Memenuhi
2	Penyerapan (%)	Maks. 3	2,58	Memenuhi
3	Kadar Lumpur (%)	Maks. 1	0,84	Memenuhi

IV.2 Pengujian Kadar Aspal

IV.2.1 Pengujian Marshall

Dari proses pengujian menghasilkan nilai untuk mengetahui nilai parameter Marshall berupa VIM, VMA, VFB, Stabilitas, Flow, dan

Marshall Question (MQ) menggunakan gradasi SNI.

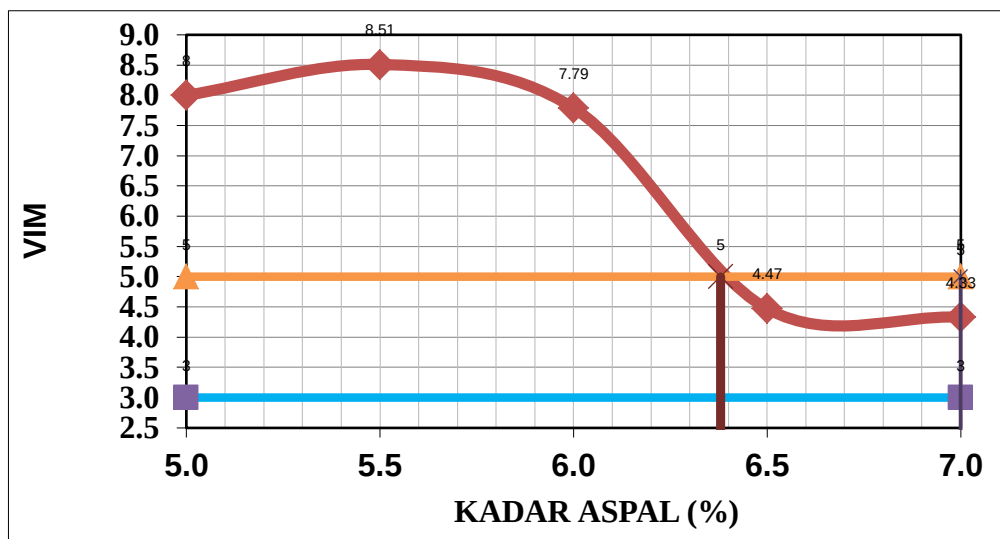
Tabel IV.3 Hasil Pengujian Marhall

VARIASI KADAR ASPAL	5	5.5	6	6.5	7
VMA	17.46	18.8	19.04	17.03	17.81
VFB	54.35	55.32	59.16	73.81	75.74
VIM	8	8.51	7.79	4.47	4.33
STABILITAS	996.96	776.74	744	824.35	1110.05
FLOW	3.65	2.85	2.73	3.03	3.85
MQ	273.43	272.49	273.05	272.61	288.24

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil, UNIFA

1 VIM

VIM (voids in Mixture) adalah banyaknya rongga yang terdapat pada campuran beraspal, dan dinyatakan dalam bentuk % terhadap total campuran. Berdasarkan spesifikasi, syarat nilai minimal 3% dan maksimal 5%.berdasarkan hasil pengujian terhadap nilai VIM dengan Variasi kadar aspal dilihat pada gambar IV.1



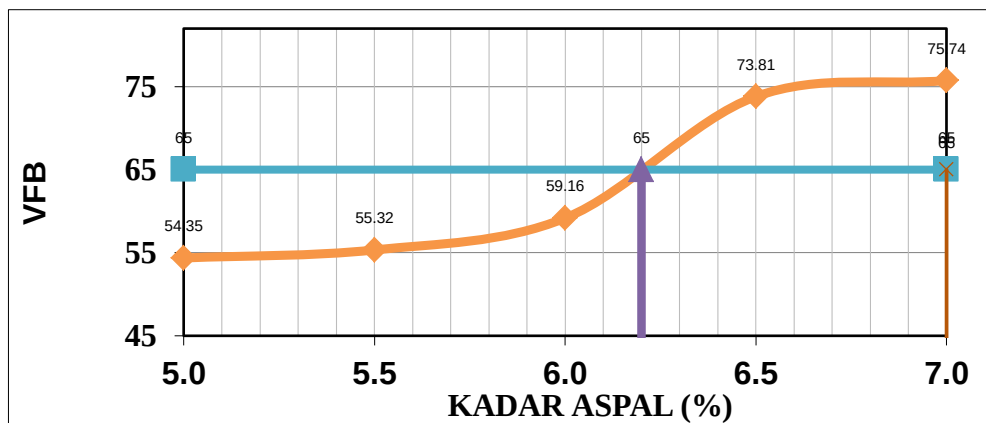
Gambar IV.1 Grafik Nilai Terhadap Kadar Aspal

Berdasarkan gambar IV.1 dapat diperoleh nilai VIM dengan kadar aspal 5% = 8, 5.5% = 8.5, 6% = 7,79, 6.5% =4.47, 7% = 4.33. berdasarkan dengan

ketentuan variasi kadar aspal yang memenuhi standar spesifikasi adalah mulai dari kadar aspal 5% sampai 7%.

2 VFB

VFB adalah jumlah rongga yang terisi aspal, jadi VFB adalah bagian dari VMA yang terisi aspal, tidak termasuk aspal yang terserap partikel agregat individu. Efek dari nilai VFB ini adalah kekuatan ikatan komposit di dalam komposit, yang jika lebih kecil akan membuat lapisan kurang permeabel terhadap air dan udara, karena lebih banyak rongga. Hal ini akan memungkinkan air dan udara lebih mudah melarutkan bagian aspal yang teroksidasi, sehingga mengurangi kekuatan campuran, tetapi jika terlalu besar menunjukkan bahwa banyak celah yang diisi dengan 'aspal', sehingga impermeabilitas aspal campuran dengan air dan udara menjadi lebih tinggi. Namun nilai VFB yang terlalu tinggi kemungkinan akan menyebabkan aspal mengalami bleed atau naik ke permukaan, sehingga nilai stabilitasnya akan menurun. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai VFB diantaranya ukuran partikel agregat, kadar aspal, jumlah pemadatan dan suhu. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga, nilai spek VFB yang dibutuhkan minimal 65%. Berikut hasil pengujian VFB pada Gambar IV.2.



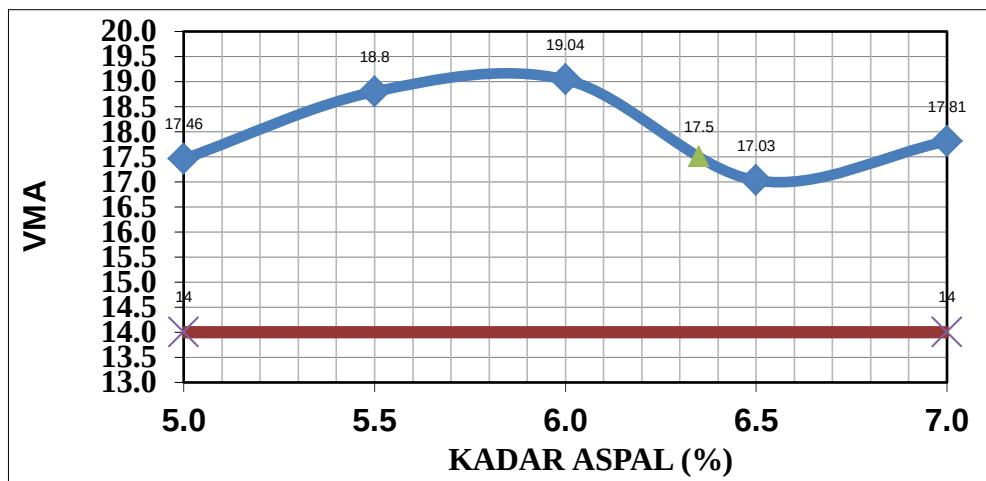
Gambar IV.2 Grafik Nilai VFB Terhadap Variasi Kadar Aspal

Berdasarkan gambar nilai rata rata VFB pada variasi kadar aspal 5% = 54.35, 5.5% = 55.32, 6% = 59.16, 6.5% = 73.81, 7% = 75.74. berdasarkan data tersebut kadar aspal yang memenuhi spesifikasi mulai dari kadar aspal 5%

samapi 5.5%.

3. VMA

VMA, Voids in Material Agregat, adalah adalah nilai pori pada agregat campuran Indeks VMA rongga antar partikel agregat dalam aspal padat yang dinyatakan dalam persentase. Nilai VMA juga dapat dinyatakan sebagai rongga yang dapat ditempati oleh volume aspal dan udara yang dibutuhkan dalam campuran agregat dan aspal. Nilai VMA dipengaruhi oleh ukuran partikel agregat, jumlah tumbukan dan kadar aspal. Semakin tinggi nilai VMA maka semakin besar pengaruh impermeabilitas dan ketahanan campuran terhadap airdan udara, namun nilai VMA yang terlalu tinggi dapat menyebabkan risiko bleeding saat perkerasan dibebani pada temperatur tinggi. Nilai VMA yang terlalu rendah akan membuat lapisan aspal lebih kecil kemungkinannya untuk berikatan dengan aspal, sehingga terjadi fraying, pitting, dll. terjadi dengan mudah. Menurut standar spesifikasi jalan raya, nilai spesifikasi VMA yang di dapat harus di atas 14%. Lihat pada Gambar IV.3

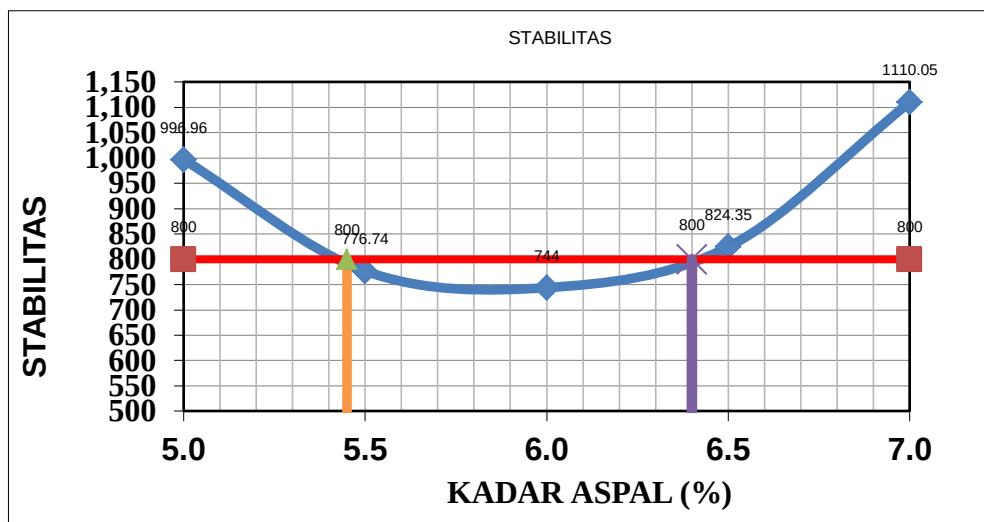


Gambar IV.3 Grafik Nilai VMA Terhadap Variasi Kadar Aspal

Pada gambar IV.3 Menunjukkan hasil VMA variasi kadar aspal yang dimana semua variasi telah memenuhi persyaratan bina marga dengan nilai minimal 14%.

4. STABILITAS

Stabilitas adalah Stabilitas merujuk pada kekuatan suatu lapisan perkerasan dalam menahan perubahan bentuk akibat beban lalu lintas, tanpa mengalami deformasi seperti gelombang atau alur. Tingginya nilai stabilitas mengindikasikan bahwa lapisan perkerasan tersebut memiliki kemampuan untuk menanggung beban lalu lintas yang berat. Dalam pengujian laboratorium menggunakan metode Marshall, stabilitas mengacu pada kemampuan bitumen (bahan pengikat) untuk menahan beban hingga mencapai titik leleh plastik, diukur dalam satuan kilogram. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh faktor seperti interlocking batuan (gesekan internal) dan gaya rekatnya. Gesekan internal terkait dengan tekstur permukaan, ukuran partikel agregat, kepadatan campuran, dan kandungan aspal. Stabilitas yang terlalu tinggi dapat membuat perkerasan menjadi keras dan mudah retak, sementara stabilitas yang rendah akan membuatnya lebih fleksibel dan rentan terhadap pembentukan alur. Menurut spesifikasi SNI, nilai stabilitas minimum yang diperlukan adalah 850 kg. Berikut adalah hasil uji stabilitas pada Gambar IV.4.



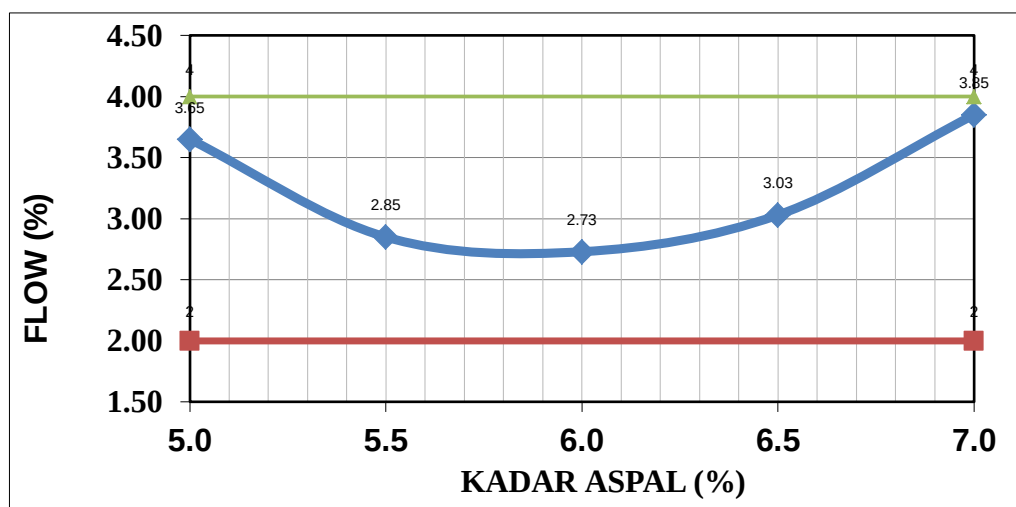
Gambar IV.4 Grafik Nilai Stabilitas Terhadap Variasi Kadar Aspal

Berdasarkan pada gambar IV.4 menunjukkan hasil dari variasi kadar

aspal 5% = 996.96, 5.5% = 776.74, 6% = 744, 6.5% = 824.35, 7% = 1110.05. Yang dimana variasi kadar aspal yang memenuhi spesifikasi adalah 5%, 5,5%, dan 7%.

5. FLOW

Kelelehan (flow) adalah Keadaan perubahan bentuk campuran yang terjadi karena beban diterapkan pada batas keruntuhan, diukur dalam satuan panjang (mm), disebut kelelehan atau aliran. Plastisitas campuran mengacu pada plastisitas lapisan perkerasan, dan laju leleh dipengaruhi terutama oleh plastisitas aspal. Ketika campuran aspal memiliki plastisitas rendah, ia akan membentuk lapisan permukaan. Gula juga memiliki tingkat keuletan yang rendah. Campuran dengan aliran rendah yang memiliki stabilitas tinggi cenderung memiliki sifat keras, sehingga rentan terhadap retak jika dikenai beban yang melebihi kapasitas dukungnya. Sebaliknya, campuran dengan nilai fluks tinggi dan stabilitas rendah cenderung lebih elastis dan mudah berubah bentuk saat dikenai beban aliran. Faktor-faktor seperti ukuran partikel agregat, kadar aspal, massa, dan suhu pemadatan mempengaruhi nilai laju alir. Spesifikasi Clan menetapkan rentang yang diperlukan untuk laju alir antara 2,0 hingga 4,0 mm. Gambar IV.5 dapat dilihat sebagai berikut.

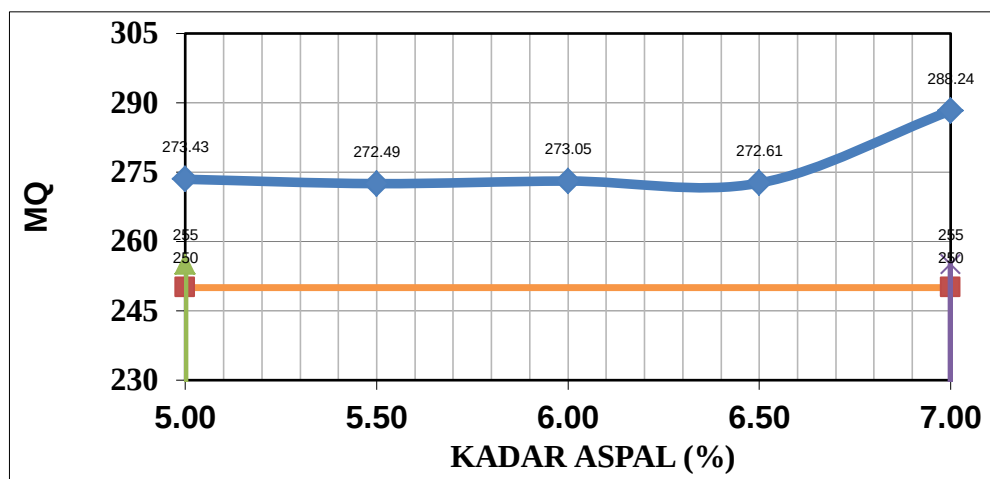


Gambar IV.5 Grafik Hasil Pengujian Flow Terhadap Variasi Kadar Aspal

Berdasarkan hasil Pengujian pada gambar IV.5 nilai flow pada variasi kadaraspal yaitu 5% = 3.65, 5,5% = 2.85, 6% = 2.73, 6.5% = 3.03, 7% = 3.85. yang dimana semua variasi telah memenuhi apesifikasi bina marga.

6. MQ

Nilai Marshall Quotient adalah Nilai Marshall Quotient merupakan hasil bagi antara stabilitas dan throughput. Penggunaan nilai Marshall Quotient bertujuan untuk mengestimasi tingkat keuletan perkerasan. Ketika stabilitas tinggi dikombinasikan dengan throughput yang rendah, perkerasan akan memiliki sifat keras dan rapuh. Di sisi lain, stabilitas yang rendah dan throughput yang tinggi mengindikasikan bahwa campuran tersebut lebih elastis, dan jika dikenai beban lalu lintas, perkerasan akan mengalami perubahan bentuk. Nilai Marshall Quotient minimal yang sesuai dengan spesifikasi adalah 250 kg/mm. Informasi lebih lanjut dapat ditemukan pada Gambar IV.6. Dapat dilihat pada Gambar IV.6

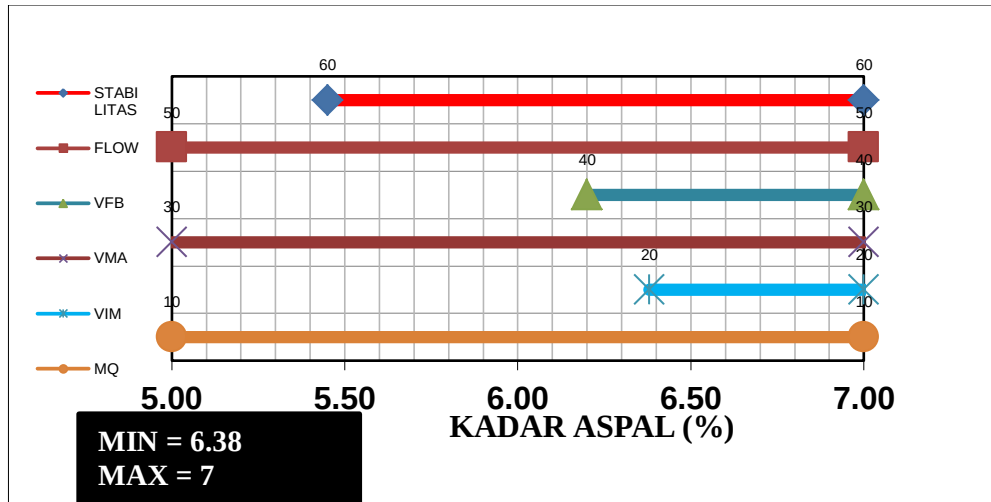


Gambar IV.6 Grafik Hasil MQ Terhadap Variasi Kadar Aspal

Berdasarkan Gambar IV.6 Nilai rata rata variasi kadar aspal yaitu 5% = 273.43Kg/mm, 5.5% = 272.49Kg/mm, 6% = 273.05 Kg/mm, 6.5% = 272.61Kg/mm, 7% = 288.24 Kg/mm. menunjukkan semua kadar aspal telah memenuhi spesifikasi nilai minimalnya.

Dari beberapa gambar kurva hubungan antara parameter marshall dengan kadar aspal untuk penentuan kadar aspal optimum diatas, maka

diperoleh hasil seperti dibawah ini:



Sumber: Hasil Pengujian Dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA

Dari Tabel IV.5 dapat kita simpulkan bahwa hasil pengujian kadar aspal optimum dari parameter marshal namun ada beberapa karakteristik yang tidak masuk standar spesifikasi yang digunakan. pada karakteristik nilai VIM semua kadar aspal yang digunakan memenuhi spesifikasi. pada karakteristik VMA semua kadar aspal yang digunakan memenuhi syarat spesifikasi. Pada karakteristik VFB kadar aspal yang memenuhi spesifikasi mulai dari 5% sampai 5.5% sedangkan 6% sampai 7% tidak memenuhi spesifikasi. Pada karakteristik FLOW semua kadar aspal yang digunakan semuanya memenuhi spesifikasi. Pada karakteristik STABILITAS kadar aspal yang memenuhi spesifikasi 5% sampai 5.5% sedangkan kadar aspal 6% sampai 7% tidak memenuhi spesifikasi. Pada karakteristik MQ semua kadar aspal yang digunakan memenuhi persyaratan spesifikasi.

Dan ketentuan dari nilai tengah kadar aspal optimum dari pengujian yang kita lakukan dengan cara seperti yang ada pada rumus dibawah ini :

$$\text{Kadar Aspal} = \frac{6,38+7}{2} = 6,69$$

Seperti hasil perhitungan nilai tengah diatas, maka nilai kadar aspal optimum yang digunakan pada penelitian yaitu 6,69%.

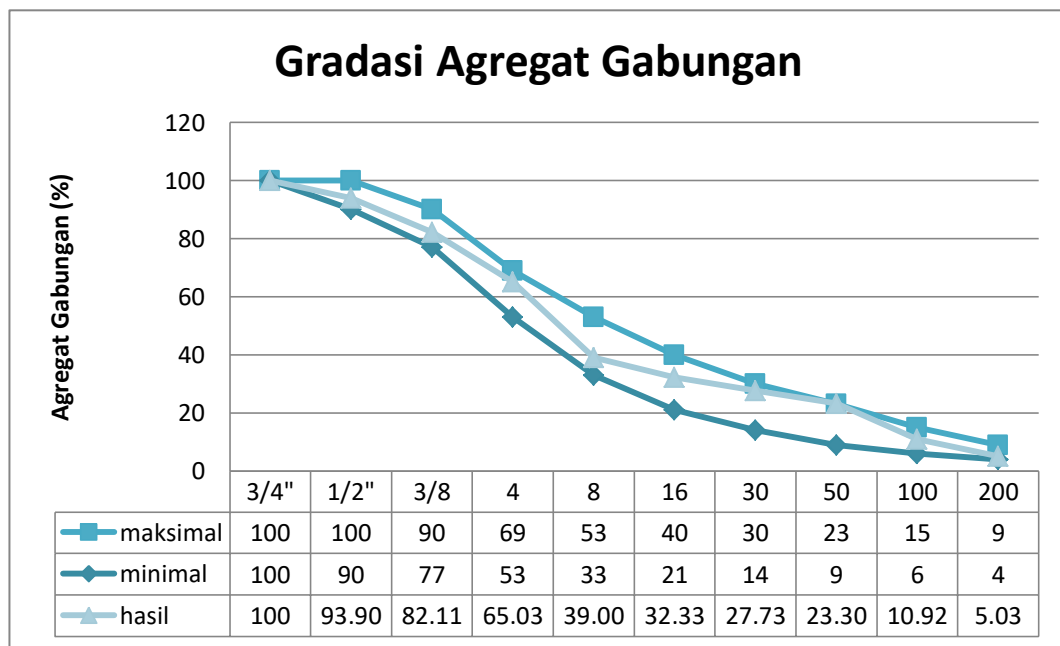
IV.3 Gradasi Gabungan

Penentuan gradasi gabungan aggregate berdasarkan pada spesifikasi umum Bina Marga IV

TABEL IV.4 Gradasi Gabungan Agregat

SIEVE NOMOR		3/4	1/2	3/8	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
BATU PECAH	% PASS	100.00	90.00	70.67	42.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
61	% BATCH	61	54.90	43.11	26.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PASIR	% PASS	100	100	100	100	100.00	71.00	51.00	36.00	23.00	11.00
23	% BATCH	23	23	23	23	23	16.33	11.73	8.28	5.29	2.53
DEBU BATU	% PASS	100	100	100	100	100.00	100.00	100.00	93.90	35.20	15.60
16	% BATCH	16	16	16	16	16	16	16	15.02	5.63	2.50
AGREGAT GABUNGAN		100	93.90	82.11	65.03	39.00	32.33	27.73	23.30	10.92	5.03
SPESIFIKASI		100	90-100	77-90	53-69	33-53	21-40	14-30	9-23	6-15	4-9

Gambar IV.7 Kurva Grafik Gabungan Agregat



Setelah dilakukan pengayakan untuk penentuan komposisi antara agregat kasar, agregat halus dan abu batu berdasarkan komposisi untuk masing masing ukuran saringan yang digunakan sesuai dengan spesifikasi bina marga maka di hasilkan nilai seperti yang di dapat diperhatikan tabel diatas. Diperoleh nilai presentase antara agregat kasar: halus: filler yaitu 65%: 30%: 5% untuk komposisi agregat untuk, baik agregat kasar, agregat halus maupun filler yang digunakan yaitu

agregat yang tertahan di masing masing saringan kemudian dipisah pisahkan sesuai dengan ukuran saringan dari spesifikasi yang digunakan.

IV. Pengujian Marshall

Hasil pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai parameter marshall berupa VIM, VMA, VFB, STABILITAS, FLOW, dan MARSHALL QUESTION (MQ) menggunakan gradasi SNI. Berikut hasil pengujian marshall menggunakan limbah sabut kelapa.

Tabel IV.5 Hasil Pengujian Marshall Menggunakan Filler Limbah Sabut Kelapa

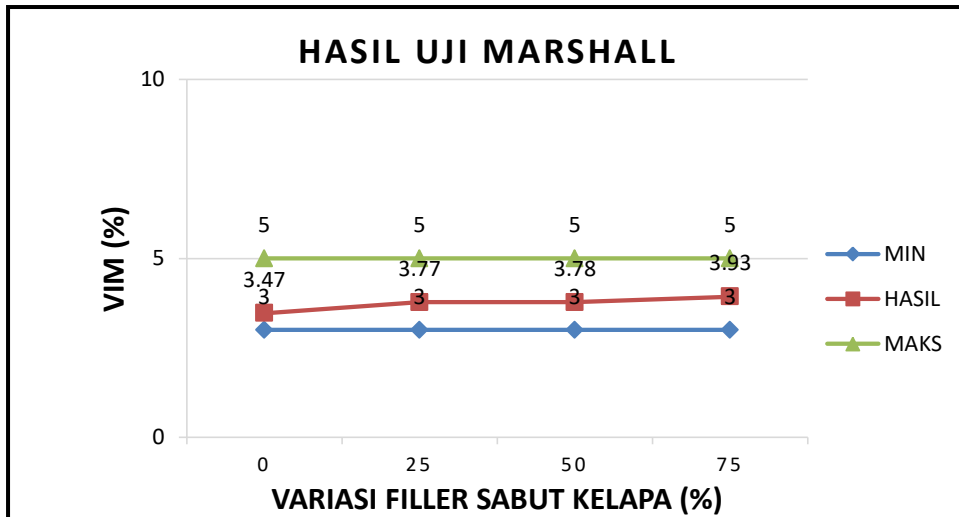
Variasi Substitusi Filler sabut kelapa (%)	No. Sampel	Kadar Aspal (%)	Hasil Pengujian Marshall					
			VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
0	1	6.69	-1.53	13.87	110.99	775.00	3.20	242.19
	2		0.86	15.90	94.59	868.00	2.10	413.33
	3		11.07	24.56	54.92	930.00	2.00	465.00
Rata-rata			3.47	18.11	86.83	857.67	2.43	373.51
25	1	6.69	6.28	19.33	74.61	806.00	1.80	447.78
	2		4.51	17.81	82.50	868.00	2.70	321.48
	3		0.53	14.38	106.46	930.00	2.60	357.69
Rata-rata			3.77	17.18	87.86	868.00	2.37	375.65
50	1	6.69	2.23	15.84	94.97	806.00	2.30	350.43
	2		6.25	19.31	74.72	899.00	2.60	345.77
	3		2.86	16.39	91.24	930.00	2.00	465.00
Rata-rata			3.78	17.18	86.98	878.33	2.30	387.07
75	1	6.69	5.75	18.88	76.83	868.00	2.00	434.00
	2		-1.66	12.50	125.17	930.00	2.60	357.69
	3		7.70	20.56	69.10	992.00	2.10	472.38
Rata-rata			3.93	17.31	90.37	930.00	2.23	421.36

Sumber: Hasil Pengujian dan Penelitian Laboratorium Teknik Sipil, UNIFA

1.VIM

VIM (voids in Mixture) adalah banyaknya rongga yang terdapat pada campuran beraspal, dan dinyatakan dalam % terhadap total campuran. Berdasarkan spesifikasi, nilai VIM yang disyaratkan yaitu minimal 3% dan maksimal 5%. berdasarkan hasil pengujian terhadap nilai VIM dengan

variasi kadar aspal dapat dilihat pada gambar IV.7

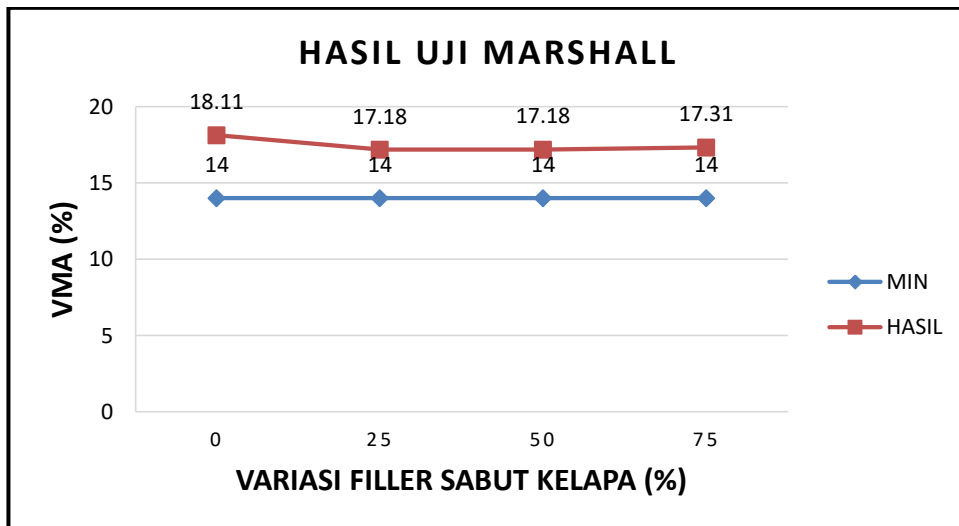


Gambar IV.8 Hasil VIM Terhadap Variasi Filler Limbah Sabut Kelapa

Berdasarkan pada gambar yang merupakan hasil perhitungan menggunakan variasi filler sabut kelapa yaitu 0%=3,47, 25%=3,77, 50%=3,78, 75%=3,93 yang dimana data yang diperoleh telah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh karena itu limbah sabut kelapa layak digunakan berdasarkan pada hasil nilai VIM.

2. VMA

VMA, Voids in Material Agregat, Nilai Pori pada Campuran Agregat VMA menunjukkan banyaknya rongga antar partikel agregat dalam aspal padat yang dinyatakan dalam persentase. Nilai MAV juga dapat dinyatakan sebagai ruang yang tersedia yang ditempati oleh volume aspal dan udara yang dibutuhkan dalam campuran agregat dan aspal. Nilai VMA dipengaruhi oleh ukuran partikel agregat, jumlah tumbukan dan kadar aspal. Semakin tinggi nilai VMA maka semakin besar pengaruh impermeabilitas dan ketahanan campuran terhadap air dan udara, namun nilai VMA yang terlalu tinggi dapat menyebabkan risiko bleeding saat perkerasan dibebani pada temperatur tinggi. Nilai VMA yang terlalu rendah akan membuat lapisan aspal lebih kecil kemungkinannya untuk berikatan dengan aspal, sehingga terjadi fraying, pitting, dll. terjadi dengan mudah. Berdasarkan Bina Marga, nilai spek VMA yang dibutuhkan minimal 16%. Lihat pada Gambar IV.



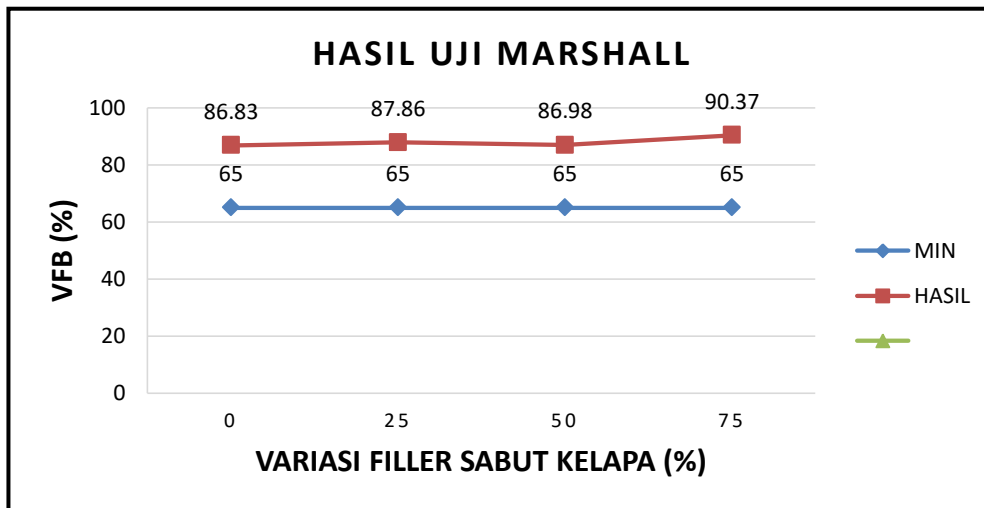
Gambar IV.9 Hasil Terhadap Variasi Filler Sabut Kelapa

Berdasarkan dengan gambar IV.8 variasi limbah sabut kelapa diperoleh nilai yaitu 0% = 18.11%, 25% = 17.18%, 50% = 17.18% , 75%= 17.31 dapat diketahui bahwa semua variasi substitusi filler limbah sabut kelapa telah memenuhi syarat oleh karena itu limbah cangkang kemiri layak digunakan berdasarkan VMA.

3. VFB

VFB adalah bagian dari VMA yang terisi aspal, tidak termasuk aspal yang terserap partikel agregat individu. Efek dari nilai VFB ini adalah kekuatan ikatan komposit dalam komposit, yang jika lebih kecil membuat lapisan kurang permeabel terhadap air dan udara, karena lebih banyak rongga. Hal ini akan memungkinkan air dan udara lebih mudah melarutkan bagian aspal yang teroksidasi, sehingga mengurangi kekuatan campuran, tetapi jika terlalu besarmenunjukkan bahwa banyak celah yang diisi dengan 'aspal', sehingga impermeabilitas aspal campuran dengan air dan udara menjadi lebih tinggi. Namun nilai VFB yang terlalu tinggi berpotensi menyebabkan bleed atau tar naik ke permukaan, sehingga nilai steady state akan menurun. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai VFB adalah ukuran partikel agregat, kadar aspal, massa dan suhu pemadatan. Berdasarkan spesifikasi jalan raya, nilai spesifikasi VFB yang dibutuhkan adalah 70-

80%.Lihat Gambar IV.



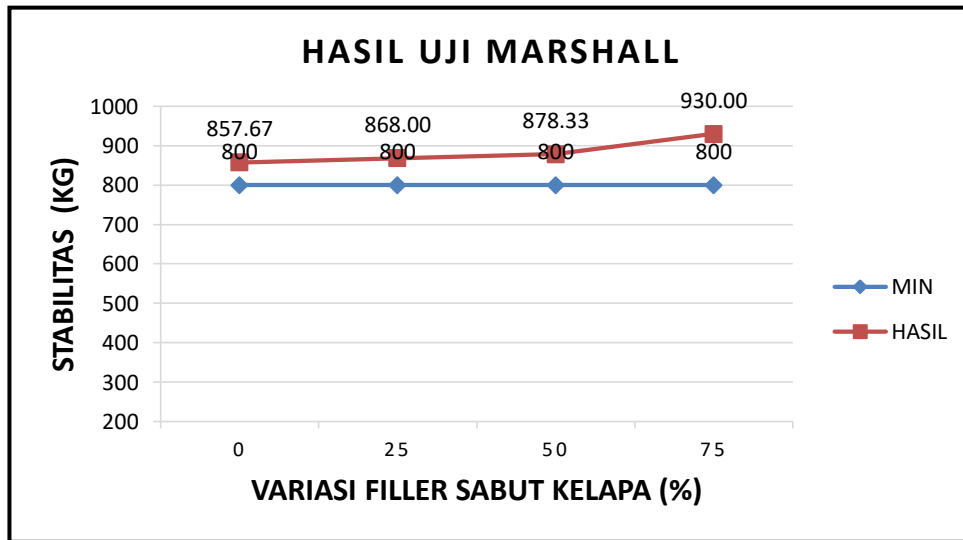
Gambar IV.10 Hasil VFB Terhadap Variasi Filler Limbah Sabut Kelapa

Berdasarkan dengan IV.9 menunjukkan nilai rata rata VFB menggunakan variasi 0% = 85.83%, 25% = 87.86%, 50% = 86.98%, 75%= 90.37% yang dimana semua variasi telah memenuhi syarat minimal nilai VFB sehingga filler limbah sabut kelapa telah memenuhi syarat menurut VFB.

4. STABILITAS

Stabilitas adalah kelebihan suatu perkerasan untuk menahan deformasi akibat beban kerja lalu lintas tanpa distorsi seperti gelombang dan alur. Nilai stabilitas yang tinggi menunjukkan bahwa perkerasan tersebut memiliki kapasitas beban lalu lintas yang tinggi. Dalam uji laboratorium Marshall, stabilitas adalah kemampuan aspal untuk menerima beban sampai terjadi pelelehan yang dinyatakan dalam kilogram. Nilai stabilitas tergantung pada kekuatan ikatan batuan (gesekan internal) dan gaya rekatnya. Gesekan internal tergantung pada tekstur permukaan, ukuran partikel agregat, kepadatan campuran dan kadar aspal. Stabilitas yang terlalu tinggi membuat perkerasan menjadi kaku dan rapuh, sedangkan stabilitas yang rendah membuat perkerasan menjadi lebih lentur dan rentan terhadap rutting. Syarat

spesiifikasi Bina Marga, nilai kandang minimum adalah 800 kg. Dapat dilihat pada Gambar IV.11



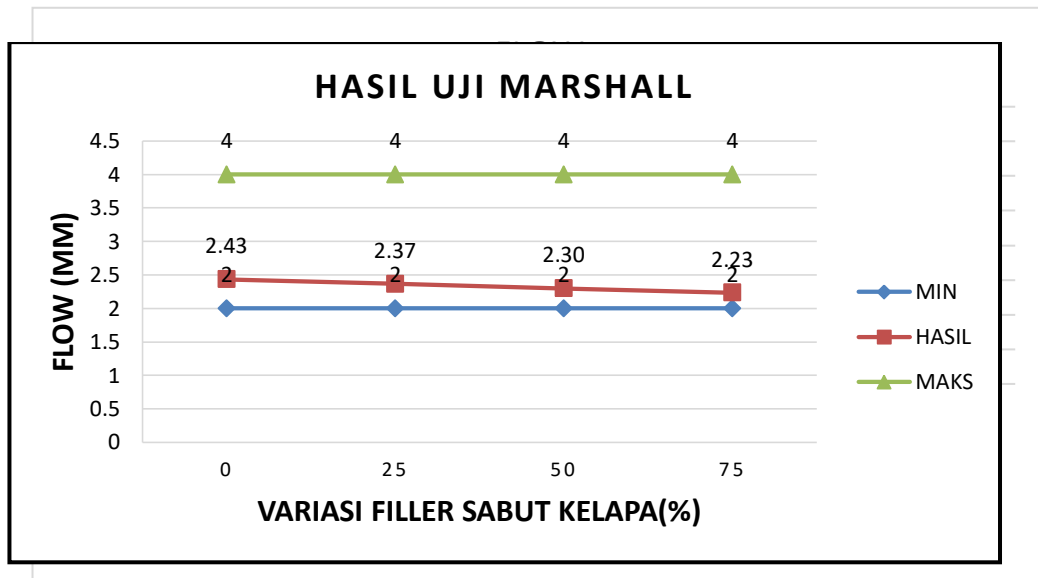
Gambar IV.11 Hasil Stabilitas Terhadap Variasi Filler Sabut Kelapa

Dapat dilihat pada gambar IV.10 menunjukkan bahwa pada variasi substitusi filler limbah sabut kelapa 0% = 857.67 Kg, 25% = 868 Kg, 50% = 878.33 Kg, 75% = 930kg. berdasarkan nilai yang diperoleh dari hasil penelitian, semua variasi tersebut mengindikasikan penggunaan filler limbah sabut kelapa memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Hal tersebut mengindikasikan penggunaan limbah sabut kelapa sebagai filler mampu menahan beban lalu lintas. Oleh karena itu, abu sabut kelapa layak digunakan berdasarkan nilai stabilitas yang diperoleh.

5. Flow

Kelelahan (*flow*) adalah kondisi perubahan bentuk campuran yang timbul akibat beban mendekati batas keruntuhan, diukur dalam satuan panjang (mm). Plastisitas campuran mencerminkan sifat plastis dari lapisan perkerasan, dimana laju pelelehan lebih banyak ditentukan oleh karakter plastis aspal. Ketika aspal dengan plastisitas rendah dicampurkan dalam perkerasan, akan membentuk lapisan permukaan. Gula memiliki keuletan yang minim. Campuran dengan aliran rendah yang memiliki stabilitas tinggi cenderung bersifat keras, sehingga dapat retak ketika dikenai beban yang

melampaui kapasitasnya. Sebaliknya, campuran dengan nilai aliran tinggi dan stabilitas rendah cenderung lebih elastis dan dapat berubah bentuk dengan mudah ketikadikenai beban aliran. Nilai laju aliran dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti ukuran partikel agregat, jumlah aspal, massa, dan suhu saat pemadatan. Berdasarkan persyaratan spesifikasi dari Bina Marga, nilai laju aliran yang diinginkan berada dalam rentang 2.0-4.0mm. Informasi lebih lanjut dapat ditemukan pada Gambar IV.



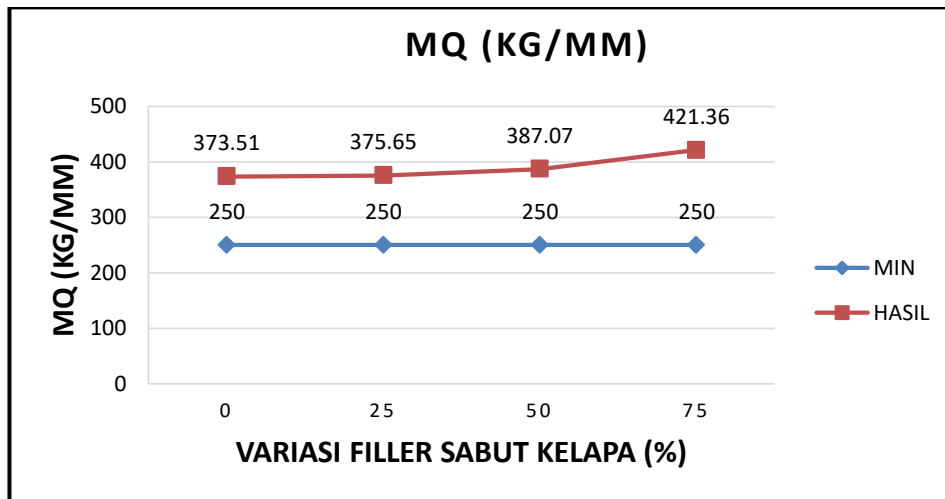
Gambar IV.12 Hasil Flow Terhadap Variasi Filler Limbah Sabut Kelapa

Dapat dilihat pada gambar IV.11 nilai flow pada variasi filler limbah sabut kelapa yaitu 0% = 2.43%, 25% = 2.37%, 50% = 2.30%, 75% = 2.23%. berdasarkan nilai nilai yang diperoleh, semua variasi substitusi filler limbah sabut kelapa memenuhi spesifikasi yang disyaratkan, oleh karena itu, limbah sabut kelapa layak digunakan berdasarkan nilai flow yang di peroleh.

6. MARSHALL QUOTIENT

Nilai Marshall Quotient merupakan hasil pembagian antara stabilitas dan throughput. Marshall Quotient digunakan sebagai pendekatan untuk menilai tingkat kelenturan perkerasan. Kombinasi stabilitas yang tinggi dengan throughput yang rendah menghasilkan perkerasan yang keras dan rapuh. Sebaliknya, bila stabilitas rendah dan throughput tinggi, ini

mengindikasikan campuran yang lebih lentur dan akan mengalami deformasi jika diberi beban lalu lintas. Nilai parameter Marshall Quotient yang dibutuhkan minimal 250 kg/mm. dapat dilihat pada gambar IV.13



Gambar IV.13 Hasil Marshall Question Terhadap Variasi Filler Limbah Sabut Kelapa

Berdasarkan Gambar IV.12 nilai rata rata pada variasi filler limbah sabut kelapa yaitu 0% = 373.51 Kg/mm, 25% = 375.65 Kg/mm, 50% = 387.07 Kg/mm, 75% = 421.36Kg/mm. Dari data yang diperoleh, semua variasi memenuhi spesifikasi yang disyaratkan, dengan semakin besar proporsi kadar filler limbah sabut kelapa, maka nilai MQ semakin bertambah. Hal ini menguatkan bahwa aspal yang melekat dan terobsobsi kedalam agregat, mampu memperkuat campuran aspal sehingga tertahan dari perubahan bentuk. Oleh karena itu limbah sabut kelapa layak digunakan berdasarkan nilai MQ yang diperoleh.

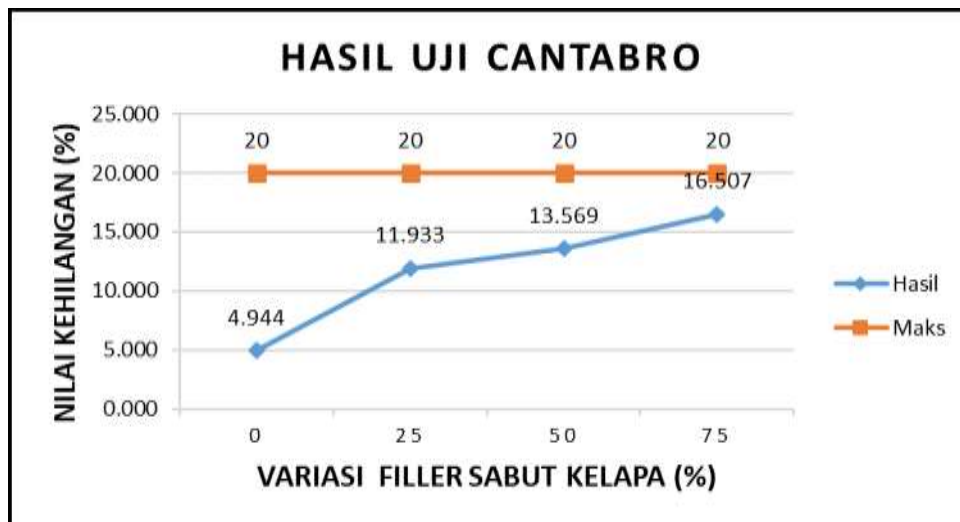
IV.5 Pengujian Cantabro

Uji cantabro dilakukan dengan memasukkan sampel satu per satu ke dalam mesin LA tanpa bola baja, kemudian diputar dengan kecepatan 300 rpm pada kecepatan 30-33 rpm. Tes cantabro dilakukan untuk mengevaluasi efek partikel lepas yang disebabkan oleh gesekan berulang kali pada roda. Pengujian ini membantu menentukan persentase kehilangan berat campuran aspal, menentukan tingkat keausan campuran aspal dengan menerima beban.

Tabel IV.6 Hasil Pengujian Cantabro Menggunakan Filler Sabut Kelapa

Variasi Filler Abu Sabut Kelapa	No. Sample	Kadar Aspal	Berat Sebelum Pengujian (Mo)	Berat Setelah Pengujian (Mi)	Kehilangan Berat (Mo-Mi)	Rata-Rata Kehilangan Berat $\frac{(Mo-Mi)}{Mo} \times 100\%$	Spesifikasi REAM
(%)		(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)
0	1	6.69	1123	1105	18	1.603	Maks.20
	2		1130	1010	120	10.619	
	3		1150	1120	30	2.609	
Rata-Rata			1000	1078	56	4.944	
25	1	6.69	1160	1023	137	11.810	
	2		1156	1015	141	12.197	
	3		1145	1010	135	11.790	
Rata-Rata			1154	1016	138	11.933	
50	1	6.69	1146	1003	143	12.478	
	2		1170	1005	165	14.103	
	3		1175	1009	166	14.128	
Rata-Rata			1164	1006	158	13.569	
75	1	6.69	1150	953	197	17.130	
	2		1160	960	200	17.241	
	3		1175	997	178	15.149	
Rata-Rata			1162	970	192	16.507	

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil, UNIFA



Gambar IV.14 Variasi Limbah Sabut Kelapa Terhadap Cantabro

Berdasarkan dari syarat spesifikasi bina marga yang diisyaratkan adalah

maksimal 20%, dimana hasil pengujian yang dilakukan dapat dilihat dari tabel IV.8 dan dapat dilihat dalam bentuk grafik pada gambar IV.13 yang menjelaskan bahwa rata rata kehilangan berat variasi 0% = 4.994%, 15% = 11.933%, 25% = 13.569%, 75% = 16.507%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai yang didapat memenuhi standar spesifikasi bina marga yang telah ditentukan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil pengujian marshall diperoleh nilai karakteristik marshall yaitu nilai VIM 0% = 3.47, 25% = 3.77, 50% = 3.78, 75% = 3.93, pada VFB 0% = 85.83%, 25% = 87.86%, 50% = 86.98%, 75% = 90.37%, VMA 0% = 18.11%, 25% = 17.18%, 50% = 17.18% , 75% = 17.31, STABILITAS 0% = 857.67 Kg, 25% = 868 Kg, 50% = 878.33 Kg, 75% = 930kg, FLOW 0% = 2.43%, 25% = 2.37%, 50% = 2.30%, 75% = 2.23%, dan MQ 0% = 373.51 Kg/mm, 25% = 375.65Kg/mm, 50% = 387.07Kg/mm, 75% = 421.36Kg/mm. Yang Dimana semua pengujian marshall memenuhi spesifikasi dari bina marga yang berarti limbah sabut kelapa sebagai pengganti filler
2. Berdasarkan hasil pengujian cantabro, diperoleh bahwa semua variasi limbah sabut kelapa sudah memenuhi spesifikasi bina marga yaitu maksimal kehilangan 20%. Nilai kehilangan pada variasi 0% adalah 4.994%, 15% adalah 11.933%, 25% adalah 13.569%, dan 75% adalah 16.507%, secara menyeluruh telah memenuhi dan telah layak digunakan dari pengujian cantabro.

V.2 SARAN

Berikut saran dalam penelitian ini adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan material yang berbeda.
2. Perlu dilakukan dengan spesifikasi yang berbeda.
3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan pada aspal ac-bc dan aspal porus.
4. Sebaiknya dilakukan penelitian lanjutan dengan kadar aspal berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen pekerjaan umum, 2010, *spesifikasi untuk jalan dan jembatan*,
direktorat bina marga.
- SNI. (1991). *Metode Pengujian Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles*. Balkitbang PU, 12(12), 1-5.
- SNI. (1991). *Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall*.
Perkerusan Jalan Raya.
- Direktorat pengolahan hasil pertanian, pedoman penggunaan limbah industri, sub
bagian pengolahan lingkungan, *direktorat jendral PPHP, departemen
pertanian*, jkarta.
- Hardiyatomo, hary chiristiady 2011, *perancangan perkerasan jalan dan
penyelidikan tanah*, gadjah mada university press, Yogyakarta
- Louis Christian lagonda, 2017, *kajian hubungan batasan kriteria marshall
quotient dengan ratio partikel lolos saringan no#200-bitument efektifif
pada campuran jenis laston*, fakultas teknik, jurusan teknik sipil,
universitas sam ratulangi.
- Sukirman, silvia, 1999, *perkerasan lentur jalan raya*, granit, Jakarta.
- Sukirman, silvia, 2003, *beton aspal campuran panas*, granit, Jakarta.
- Sofia I, Sigid P. Hadiwardoyo, *Penelitian efek limbah serabut kelapa pada
modulus resilient aspal beton campuran panas*, program studi Teknik
sipil, fakultas Teknik, universitas Indonesia, depok.

- Rahaditya, 2012. *terhadap sifat elastisitas campuran dan sensifisitas campuran*, Jurnal Teknik Sipil
- Colbert, 1984. *Residu minyak bumi*, Jurnal Teknik Sipil
- SNI 03-2834-2000. *Pengertian agregat kasar*, bina marga (2018)
- Putrawirawan, A., Pranoto, Y., Palondongan, M. I., Samarinda, P. N., & Marshall, K. (2018). P-39 Alternatif Penambahan Batu Laterit sebagai Bahan Substitusi Agregat Kasar Pada Perkerasan asphalt Concrete – Binder Course (Ac-Bc) the Addition Alternative of Laterit As Materials Subtitutioncourse Aregate To Pavement asphalt Concrete - Binder. *SNITT Politeknik Negeri Balikpapan*.
- Saodang, H. (2005). *Perancangan Perkerasan Jalan* (2nd ed.). Penerbit Nova.
- Sugiarto. et all (2016) . *Efek Pengaruh Temperatur Pemadatan pada Campuran untuk Perkerasan Lapis Aus*. Jurnal Rekayasa Sipil',4(3), pp. 513-522. Available at: <http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jrsdd/artcle/view/467>.
- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas* (1st ed.).
- Suprpto, Heri. 2009. *Studi Model Pengelolaan Limbah Konstruksi dalam Pelaksanaan Pembangunan Proyek Konstruksi*. Jurnal Proceeding PESAT (Psikologi, Ekonomi, Sastra, Arsitektur dan Sipil) Universitas Gunadarma, Vol.3, ISSN: 18858-2559.
- Wiyono, E. (2015). Untuk Daur Ulang Campuran Beton Aspal. *Politeknologi*, 14(1), 1–8.
- Yuliansyah, A.,dkk., (2015). *Pengaruh Kandungan Aspal Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran AC-WC Dengan Variasi VMA (Void In Mineral Aggregate)*. Jurnal Transportasi, 15(3), 241-251.
- Yusril Mahendra A. & Zulfan Syah M. (2023). *Pengaruh Bahan Tambah Serat Fiber Karbon Dalam Campuran Superpave Terhadap Sifat-Sifat Mekanik*. Universitas Muslim Indonesia.

**L
A
M
P
I
R
A
N**



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL

PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 1 Pemeriksaan Absorpsi dan Berat Jenis Agregat Kasar

Dikerjakan : WAHYUDI ALI

Diperiksa :

Pengujian : Karakteristik Agregat

Penelitian : Tugas Akhir

Berat Bahan : 2500 gr (chipping)

NO. CONTOH				I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	(gr)	A		2000.0	2590.00	2295.00
Berat contoh kering permukaan	(gr)	B		2262.0	2710.00	2486.00
Berat contoh dalam air	(gr)	C		1139.00	1557.00	1348.00
Berat jenis bulk (atas dasar kering oven)		A		1.78	2.25	2.01
		B - C				
Berat jenis bulk (atas dasar kering permukaan)		B		2.01	2.35	2.18
		B - C				
Berat jenis semu		A		2.32	2.51	2.42
		A - C				
Penyerapan air		$\frac{B - A}{A} \times 100\%$		13.10	4.63	8.87

Makassar, Maret 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium sipil

Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 2 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Dikerjakan : WAHYUDI ALI

Diperiksa :

Pengujian : Karakteristik Agregat

Penelitian : Tugas Akhir

Berat Bahan : 500gr (Pasir)

No. Contoh		I	II	Rata-rata
Berat Contoh Kering Oven (Gr)	A	473,00	490,00	481,00
Berat Contoh Kering Permukaan (Gr)	B	690,00	750,00	720,00
Berat Contoh Dalam Air (Gr)	C	945,00	1075,00	1010,00
Berat Jenis Bulk (Atas Dasar Kering Oven)	$\frac{A}{B + 500 - C}$	1,93	2,80	2,37
Berat Jenis Bulk SSD	$\frac{500}{B + 500 - C}$	2,04	2,86	2,45
Berat Jenis Semu	$\frac{A}{B + A - C}$	2,17	2,97	2,57
Penyerapan Air	$\frac{500 - A}{A} \times 100$	5,71	2,04	3,87

Makassar, Maret 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium sipil

Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 3 Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar

Dikerjakan : WAHYUDI ALI

Diperiksa :

Pengujian : Karakteristik Agregat

Penelitian : Tugas Akhir

Berat Bahan : 500gr

Gradasi Saringan		No. Sampel			
		I		II	
Lolos	Tertahan	A	B	C	D
		Berat	Berat	Berat	Berat
		Sebelum (gr)	Sesudah (gr)	Sebelum (gr)	Sesudah (gr)
3/ 4"	1/ 2"	2500	2332	2500	2458
1/ 2"	3/ 8"	2500		2500	
Jumlah Berat (gram)		5000		5000	
Berat Tertahan Saringan No. 12 (gram)		2332		2458	
Keausan					
$\frac{A - B}{A} \times 100\%$		$\frac{5000 - 2332}{5000} \times 100\% = 53.36\%$		$\frac{5000 - 2458}{5000} \times 100\% = 50.84\%$	
Rata - rata		52.10%			

Makassar, Maret 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium sipil

Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 4 Pemeriksaan Indeks Kepipihan Agregat Kasar

Dikerjakan : WAHYUDI ALI
Diperiksa :
Pengujian : Karakteristik Agregat
Penelitian : Tugas Akhir
Berat Bahan : 1000gr (Chipping)

Nomor	Gradasi Saringan	Ukuran Thickness Gauge		Berat Lolos Slot (Gram)	Berat Ter- tahan Slot (Gram)	Total Berat (Gram)
		Lebar (mm)	Panjang g (mm)			
				A	B	C
I	3/4" 1/2"	6.67	38.2	110	390	500
II	1/2" 3/8"	4.8	25.4	138	362	500
T o t a l				248	752	1000
$\text{Indeks Kepipihan} = \frac{\text{Total Berat A}}{\text{Total Berat C}} \times 100 \%$				$\frac{248}{1000} \times 100\% = 24.8\%$		

Makassar, Maret 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium sipil

Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 5 Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus

Dikerjakan : WAHYUDI ALI
Diperiksa :
Pengujian : Karakteristik Agregat
Penelitian : Tugas Akhir
Berat Bahan : 1000gr (Pasir)

Kode	Uraian	Pemeriksaan
A	Volume lumpur	3 ml
B	Volume total (lumpur + pasir)	200 ml

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{A}{B} \times 100\% = 1,5\%$$

Makassar, Maret 2024

Mengetahui;
Koordinator Laboratorium sipil
Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 6 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar

Dikerjakan : WAHYUDI ALI
Diperiksa :
Pengujian : Karakteristik Agregat
Penelitian : Tugas Akhir
Berat Bahan : 1000gr
Material : Chipping

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)	Kumulatif Tertahan (gram)	Persen Total Tertahan (%)	Persen Lolos (%)
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	150.00	150.00	10.00	90.00
3/8"	290.00	440.00	29.33	70.67
4	420.00	860.00	57.33	42.67
8	640.00	1500.00	100.00	0.00
16	0.00	1500.00	100.00	0.00
30	0.00	1500.00	100.00	0.00
50	0.00	1500.00	100.00	0.00
100	0.00	1500.00	100.00	0.00
200	0.00	1500.00	100.00	0.00
PAN	0.00	1500.00	100.00	0.00

Makassar, Maret 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium sipil

Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 7 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus

Dikerjakan : WAHYUDI ALI
Diperiksa :
Pengujian : Karakteristik Agregat
Penelitian : Tugas Akhir
Berat Bahan : 1000gr
Material : Pasir

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)	Kumulatif Tertahan (gram)	Persen Total Tertahan (%)	Persen Lolos (%)
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00
4	0.00	0.00	0.00	100.00
8	0.00	0.00	0.00	100.00
16	290.00	290.00	29.00	71.00
30	200.00	490.00	49.00	51.00
50	150.00	640.00	64.00	36.00
100	130.00	770.00	77.00	23.00
200	120.00	890.00	89.00	11.00
PAN	110.00	1000.00	100.00	0.00

Makassar, Maret 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium sipil

Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 8 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus/Abu Batu

Dikerjakan : WAHYUDI ALI
Diperiksa :
Pengujian : Karakteristik Agregat
Penelitian : Tugas Akhir
Berat Bahan : 1000gr
Material : Abu Batu

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)	Kumulatif Tertahan (gram)	Persen Total Tertahan (%)	Persen Lolos (%)
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00
4	0.00	0.00	0.00	100.00
8	0.00	0.00	0.00	100.00
16	0.00	0.00	0.00	100.00
30	0.00	0.00	0.00	100.00
50	61.00	61.00	6.10	93.90
100	587.00	648.00	64.80	35.20
200	196.00	844.00	84.40	15.60
PAN	156.00	1000.00	100.00	0.00

Makassar, Maret 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium sipil

Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

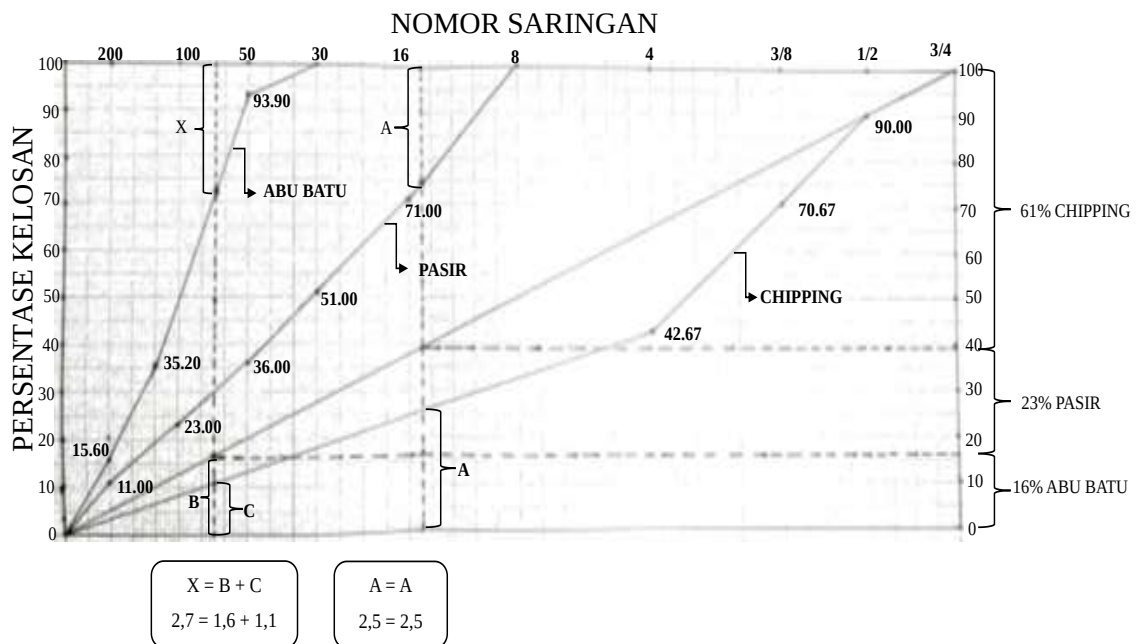
Lampiran 9 Penentuan Komposisi Agregat Secara Grafik

Dikerjakan : WAHYUDI ALI

Diperiksa :

Pengujian :

Penelitian : Tugas Akhir



Makassar, Maret 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium sipil

Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar
90231

Lampiran 10 Analisa Data Bricket Gradasi Bina Marga

Dikerjakan : WAHYUDI ALI

Diperiksa :

Pengujian :

Penelitian : Tugas Akhir

Material Chipping	=	(	100%	-	6.69%	)	x	61%	x	1200	=	683.0292
3/4	=	(	100%	-	100.00%	)	x	683.03	=	0.00	gram	
1/2	=	(	100.00%	-	84.93%	)	x	683.03	=	102.93	gram	
3/8	=	(	84.93%	-	66.40%	)	x	683.03	=	126.57	gram	
no. 4	=	(	66.40%	-	28.07%	)	x	683.03	=	261.81	gram	
no.8	=	(	28.07%	-	0.00%	)	x	683.03	=	191.73	gram	
no. 16	=	(	0.00%	-	0.00%	)	x	683.03	=	0.00	gram	
no. 30	=	(	0.00%	-	0.00%	)	x	683.03	=	0.00	gram	
no. 50	=	(	0.00%	-	0.00%	)	x	683.03	=	0.00	gram	
no. 100	=	(	0.00%	-	0.00%	)	x	683.03	=	0.00	gram	
no. 200	=	(	0.00%	-	0.00%	)	x	683.03	=	0.00	gram	
PAN	=	(	0.00%	-	0.00%	)	x	683.03	=	0.00	gram	

Material pasir	=	(	100%	-	6.69%	)	x	23%	x	1200	=	257.536
3/4	=	(	100%	-	100%	)	x	257.54	=	0.00	gram	
1/2	=	(	100%	-	100%	)	x	257.54	=	0.00	gram	
3/8	=	(	100%	-	100%	)	x	257.54	=	0.00	gram	
no. 4	=	(	100%	-	100%	)	x	257.54	=	0.00	gram	
no.8	=	(	100%	-	100%	)	x	257.54	=	0.00	gram	
no. 16	=	(	100%	-	80.80%	)	x	257.54	=	49.45	gram	
no. 30	=	(	81%	-	64.70%	)	x	257.54	=	41.46	gram	
no. 50	=	(	64.70%	-	47.80%	)	x	257.54	=	43.52	gram	
no. 100	=	(	47.80%	-	33.60%	)	x	257.54	=	36.57	gram	
no. 200	=	(	33.60%	-	15.40%	)	x	257.54	=	46.87	gram	
PAN	=	(	15.40%	-	0.00%	)	x	257.54	=	39.66	gram	

Material Debu Abu	=	(	100%	-	6.69%	)	x	16%	x	1200	=	179.1552
3/4	=	(	100%	-	100%	)	x	179.16	=	0.00	gram	
1/2	=	(	100%	-	100%	)	x	179.16	=	0.00	gram	
3/8	=	(	100%	-	100%	)	x	179.16	=	0.00	gram	
no. 4	=	(	100%	-	100%	)	x	179.16	=	0.00	gram	
no.8	=	(	100%	-	100%	)	x	179.16	=	0.00	gram	
no. 16	=	(	100%	-	100%	)	x	179.16	=	0.00	gram	
no. 30	=	(	100%	-	100%	)	x	179.16	=	0.00	gram	
no. 50	=	(	100%	-	93.90%	)	x	179.16	=	10.93	gram	
no. 100	=	(	93.90%	-	35.20%	)	x	179.16	=	105.16	gram	
no. 200	=	(	35.20%	-	15.60%	)	x	179.16	=	35.11	gram	

Makassar, Maret 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium sipil

Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 11 Analisa Nilai Variasi Sabut Kelapa

Dikerjakan : WAHYUDI ALI

Diperiksa :

Pengujian :

Penelitian : Tugas Akhir

Variasi Sabut Kelapa	50	100	200	PAN
0	10.93	105.16	35.11	27.95
25	2.73	26.29	8.78	6.99
50	5.46	52.58	17.56	13.97
75	8.20	78.87	26.34	20.96

Makassar, Maret 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium sipil

Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 12 Proporsi Gabungan

Dikerjakan : WAHYUDI ALI

Diperiksa :

Pengujian : 0%

Penelitian : Tugas Akhir

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Abu Batu	Batu Gunung	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	102.93	0.00	0.00	0.00	102.93
3/8"	9.80	126.57	0.00	0.00	0.00	126.57
4	4.75	261.81	0.00	0.00	0.00	261.81
8	2.35	191.73	0.00	0.00	0.00	191.73
16	1.18	0.00	49.45	0.00	0.00	49.45
30	0.60	0.00	41.46	0.00	0.00	41.46
50	0.30	0.00	43.52	10.93	0.00	54.45
100	0.15	0.00	36.57	105.16	0.00	141.73
200	0.075	0.00	46.87	35.11	0.00	81.99
PAN	0.00	0.00	39.66	27.95	0.00	67.61
Berat Total Agregat						1119.72
Berat Aspal (6.69%)						80.28
Total						1200.00

Makassar, Maret 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium sipil

Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 13 Proporsi Gabungan

Dikerjakan : WAHYUDI ALI

Diperiksa :

Pengujian : 25%

Penelitian : Tugas Akhir

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Abu Batu	Batu Gunung	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	102.93	0.00	0.00	0.00	102.93
3/8"	9.80	126.57	0.00	0.00	0.00	126.57
4	4.75	261.81	0.00	0.00	0.00	261.81
8	2.35	191.73	0.00	0.00	0.00	191.73
16	1.18	0.00	49.45	0.00	0.00	49.45
30	0.60	0.00	41.46	0.00	0.00	41.46
50	0.30	0.00	43.52	8.20	2.73	54.45
100	0.15	0.00	36.57	78.87	26.29	141.73
200	0.075	0.00	46.87	26.34	8.78	81.99
PAN	0.00	0.00	39.66	20.96	6.99	67.61
Berat Total Agregat						1119.72
Berat Aspal (6.69%)						80.28
Total						1200.00

Makassar, Maret 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium sipil

Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 14 Proporsi Gabungan

Dikerjakan : WAHYUDI ALI

Diperiksa :

Pengujian : 50%

Penelitian : Tugas Akhir

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Abu Batu	Batu Gunung	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	102.93	0.00	0.00	0.00	102.93
3/8"	9.80	126.57	0.00	0.00	0.00	126.57
4	4.75	261.81	0.00	0.00	0.00	261.81
8	2.35	191.73	0.00	0.00	0.00	191.73
16	1.18	0.00	49.45	0.00	0.00	49.45
30	0.60	0.00	41.46	0.00	0.00	41.46
50	0.30	0.00	43.52	5.46	5.46	54.45
100	0.15	0.00	36.57	52.58	52.58	141.73
200	0.075	0.00	46.87	17.56	17.56	81.99
PAN	0.00	0.00	39.66	13.97	13.97	67.61
Berat Total Agregat						1119.72
Berat Aspal (6.69%)						80.28
Total						1200.00

Makassar, Maret 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium sipil

Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 15 Proporsi Gabungan

Dikerjakan : WAHYUDI ALI

Diperiksa :

Pengujian : 75%

Penelitian : Tugas Akhir

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Abu Batu	Batu Gunung	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	102.93	0.00	0.00	0.00	102.93
3/8"	9.80	126.57	0.00	0.00	0.00	126.57
4	4.75	261.81	0.00	0.00	0.00	261.81
8	2.35	191.73	0.00	0.00	0.00	191.73
16	1.18	0.00	49.45	0.00	0.00	49.45
30	0.60	0.00	41.46	0.00	0.00	41.46
50	0.30	0.00	43.52	5.46	5.46	54.45
100	0.15	0.00	36.57	52.58	52.58	141.73
200	0.075	0.00	46.87	17.56	17.56	81.99
PAN	0.00	0.00	39.66	13.97	13.97	67.61
Berat Total Agregat						1119.72
Berat Aspal (6.69%)						80.28
Total						1200.00

Makassar, Maret 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium sipil

Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 16 Analisa Data Pengujian Marshall

Dikerjakan : WAHYUDI ALI

Diperiksa :

Pengujian :

Penelitian : Tugas Akhir

Variasi Substitusi Filler sabut kelapa (%)	No. Sampel	Kadar Aspal (%)	Hasil Pengujian Marshall					
			VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
0	1	6.69	-1.53	13.87	110.99	775.00	3.20	242.19
	2		0.86	15.90	94.59	868.00	2.10	413.33
	3		11.07	24.56	54.92	930.00	2.00	465.00
Rata-rata			3.47	18.11	86.83	857.67	2.43	373.51
25	1	6.69	6.28	19.33	74.61	806.00	1.80	447.78
	2		4.51	17.81	82.50	868.00	2.70	321.48
	3		0.53	14.38	106.46	930.00	2.60	357.69
Rata-rata			3.77	17.18	87.86	868.00	2.37	375.65
50	1	6.69	2.23	15.84	94.97	806.00	2.30	350.43
	2		6.25	19.31	74.72	899.00	2.60	345.77
	3		2.86	16.39	91.24	930.00	2.00	465.00
Rata-rata			3.78	17.18	86.98	878.33	2.30	387.07
75	1	6.69	5.75	18.88	76.83	868.00	2.00	434.00
	2		-1.66	12.50	125.17	930.00	2.60	357.69
	3		7.70	20.56	69.10	992.00	2.10	472.38
Rata-rata			3.93	17.31	90.37	930.00	2.23	421.36

Makassar, Maret 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium sipil

Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 17 Analisa Data Pengujian Cantabro

Dikerjakan : WAHYUDI ALI

Diperiksa :

Pengujian :

Penelitian : Tugas Akhir

Variasi Filler Abu Sabut Kelapa	No. Sample	Kadar Aspal	Berat Sebelum Pengujian (Mo)	Berat Setelah Pengujian (Mi)	Kehilangan Berat (Mo-Mi)	Rata-Rata Kehilangan Berat $\frac{(Mo-Mi)}{Mo} \times 100\%$	Spesifikasi REAM
(%)		(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)
0	1	6.69	1123	1105	18	1.603	Maks.20
	2		1130	1010	120	10.619	
	3		1150	1120	30	2.609	
Rata-Rata			1000	1078	56	4.944	
25	1	6.69	1160	1023	137	11.810	
	2		1156	1015	141	12.197	
	3		1145	1010	135	11.790	
Rata-Rata			1154	1016	138	11.933	
50	1	6.69	1146	1003	143	12.478	
	2		1170	1005	165	14.103	
	3		1175	1009	166	14.128	
Rata-Rata			1164	1006	158	13.569	
75	1	6.69	1150	953	197	17.130	
	2		1160	960	200	17.241	
	3		1175	997	178	15.149	
Rata-Rata			1162	970	192	16.507	

Makassar, Maret 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium sipil

Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)

DOKUMENTASI

Sabut kelapa



Abu sabut kelapa



Penyaringan agregat



Penimbangan agregat



Mix design



proses pencetakan sampel



Penimbangan kering



Penimbangan ssd



Uji



marshall

Uji cantabro



Penimbangan dalam air



Hasil uji cantabro

