STUDI PENGARUH PENGGUNAAN CANGKANG SAWIT SEBAGAI SUBTITUSI AGREGAT KASAR TERHADAP CAMPURAN AC-WC MENGGUNAKAN SPESIFIKASI BINA MARGA 2018

TUGAS AKHIR

Karya Tulis sebagai salah satu syarat

untuk memperoleh gelar sarjana dari

Universitas Fajar

Oleh

YASRIL

1920121003

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS FAJAR

2024

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PENGARUH PENGGUNAAN CANGKANG SAWIT SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT KASAR TERHADAP CAMPURAN AC-WC MENGGUNAKAN SPESIFIKASI BINA MARGA 2018

Oleh :

Yasril

1920121003

Menyetujui

Tim Pembimbing

Makassar, 10 Juni 2024

Pembimbing

Dr. Erdawaty, ST., MT
NIDN: 0921047802

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Fajar

Prof. Dr. Ir. Erniati, ST., MT
NIDN : 0906707701

Ketua Program Studi
Teknik Sipil Universitas Fajar

Fatmawaty Rachim, ST., MT
NIDN : 0919117903

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir :

"STUDI PENGARUH PENGGUNAAN CANGKANG SAWIT SEBAGAI SUBTITUSI AGREGAT KASAR TERHADAP AC-WC MENGGUNAKAN SPESIFIKASI BINA MARGA 2018" adalah karya orisinalitas saya dan setiap seluruh sumber acuan telah ditulis sesuai dengan panduan penulisan ilmiah yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Fajar.

Makassar, 12 Juni 2024

Yang menyatakan,

Yasril

ABSTRAK

Studi Pengaruh Penggunaan Cangkang Sawit Sebagai Subtitusi Agregat Kasar Terhadap Campuran Ac-Wc Menggunakan Spesifikasi Bina Marga 2018. Yasril. Cangkang Sawit merupakan limbah pertanian yang dihasilkan dari pengolahan kelapa sawit. Sebagai bahan pengganti agregat kasar , cangkang sawit memiliki sifat fisik dan mekanik yang cukup baik. Seperti kekerasan, berat jenis dan daya serap air. Namun, sebelum bahan pengganti agregat kasar digunakan secara luas pada campuran AC-WC, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat-sifat campuran tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi yang bermanfaat bagi industri konstruksi jalan raya dalam mengembangkan bahan pengganti agregat kasar yang ramah lingkungan dan dapat meningkatkan efisiensi produksi serta kualitas jalan yang dihasilkan. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi kadar aspal 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; dan 7%, sedangkan variasi limbah cangkang sawit yang digunakan yaitu 0/100; 50/50; dan 100/0. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode *marshall* dan cantabro untuk mengetahui karakteristik campuran. Hasil pengujian menunjukkan dengan menggunakan limbah cangkang sawit dengan variasi 50/50 mempunyai pengaruh yang naik terhadap karakteristik *marshall* seperti nilai stabilitas sebesar 802,38 Kg, *Flow* sebesar 2,75 mm, VFB sebesar 74,48%, VMA sebesar 16,37%, VIM sebesar 4,19% dan MQ sebesar 291,74 Kg/mm. Dengan demikian, campuran tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018.

Kata kunci: *Kadar Aspal Optimum, Karakteristik Marshall, Limbah Cangkang Sawit, Cantabro*

ABSTRACT

Study on the Influence of Oil Palm Shell Utilization as a Substitute for Coarse Aggregate on AC-WC Mixtures Using Bina Marga 2018 Specifications. Yasril. *Oil palm shell is an agricultural waste generated from palm oil processing. As a substitute for coarse aggregate, oil palm shell has fairly good physical and mechanical properties, such as hardness, specific gravity, and water absorption capacity. However, before the substitute material for coarse aggregate is widely used in AC-WC mixtures, research needs to be conducted to determine its effects on the properties of such mixtures. The aim of this study is to provide useful information for the highway construction industry in developing environmentally friendly substitutes for coarse aggregate that can enhance production efficiency and the quality of roads produced. The independent variables in this study are variations in asphalt content of 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, and 7%, while the variations of oil palm shell waste used are 0/100, 50/50, and 100/0. Testing was conducted using the Marshall and Cantabro methods to determine the characteristics of the mixture. The test results show that using oil palm shell waste with a 50/50 variation has a positive influence on Marshall characteristics, such as stability value of 802.38 kg, flow value of 2.75 mm, VFB of 74.48%, VMA of 16.37%, VIM of 4.19%, and MQ of 291.74 kg/mm. Thus, the mixture meets the requirements of the Bina Marga 2018 specifications."*

Keywods: *Optimum Asphalt Content, Marshall Characteristics, Oil Palm Shell Waste, Cantabro*

KATA PENGANTAR

Puji dain syukur kita panjatkan atas kehaJdirat Allah SWT. Atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga proposal penelitian ini dapat terselesaikan yang berjudul **"Studi Pengaruh Penggunaan Cangkang Sawit Sebagai Subtitusi Agregat Kasar Terhadap Campuran AC-WC Menggunakan Spesifikasi Bina Matga 2018"**. Dengan sebatas pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki.

Tak lupa pada lembaran ini penulis hendak menyampaikan terima kasih sedalam-dalamnya kepada diri sendiri yang senantiasa kuat, konsisten dalam perjuangan serta usaha kecil daIam memahami tanggung jawab, penulis terikat janji untuk menuntaskan segala sesuatu yaing telah dimulainya meski dengan segaa keterbatasan yaing tak jarang ditemui dalam perjalananya.

Penulis menyadari bahwa selesainya proposal penetitian ini tidak terlepas dari bimbingan, dukungan, doa, dan bantuan dari semua pihak. Sejak dari penyusunan hingga selesainya proposal penelitian ini adaIah berkat keterlibatan berbagai pihak. Olehnya pada kesempatan penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang mendukung dalam penyusunan proposa ini, saya ucapkan kepada :

1. Allah swt. Yang teIah memberikan kesehatan kepada saya sehingga dapat menyelesaikan proposal ini dengan tepat waktu.
2. Kepada kedua orang tua tercinta, Ayah Addaas dan Almh. Ibu Jumiati dengan tulus senantiasa mendoakan serta kakak saya Ekawati Samsidar Nirmala dan Naniwijaya Harianto Aspar yang senantiasa memberikan bantuan, motivasi, dan doa yang tulus serta materil sehingga peneliti dapat menyelesaikan skripsi ini dengain tepat waktu.
3. Rektor Universitas Fajar, Bapak Mulyadi Hamid, SE.,M.Si.
4. Ibu Prof. Dr. Ir. Erniati, ST., MT, seIaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Fajar.
5. Ibu Fatmawaty Rachim, ST., MT selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Fajar.

6. Ibu Dr. Erdawaty., ST.MT, selaku dosen Pembimbing, yang telah zzz`/memberikan arahan selama akan dimulainya kegiatan penelitian hingga penelitian ini berjalan dengain baik.
7. Teman-teman Teknil Sipil angkatan 2019
8. Serta semua pihak dengan segala kerendahan hati membantu dalam penyelesaian proposal ini.

Penulis tidak lupa meminta maaf kepada semua pihak yang terlibat dalam pengerjaan proposal ini jika ada kesalahan dan kesalahan baik dalam ucapan maupun perilaku penulis yang tidak menyenangkan dalam proses pengerjaan proposal ini. Penulis berharap proposal ini dapat efektif, walaupun penulis memahami bahwa proposal ini masih banyak kekurangan. Penulis mengharapkan koreksi dari penulis atas kesalahan dan saran untuk perbaikan.

Akhir kata semoga semua bantuan dan amal baik tersebut mendapatkan berkat dan anugerah dari Allah SWT. Aamiin.

Makassar, 5 Januari 2023

Yasril

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ii
KATA PENGANTAR iii
DAFTAR ISI vii
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR TABEL x
BAB I PENDAHULUAN 1
I.1 Latar Belakang 1
I.2 Rumusan Masalah 2
I.3 Tujuan Penelitian 2
I.4 Manfaat Penelitian 3
I.5 Batasan Masalah 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4
II.1 Perkerasan Jalan 4
II.2 Perkerasan Lentur 4
II.2.1 Lapisan Tanah Dasar 5
II.2.2 Lapisan Pondasi Bawah (Subbase Course) 6
II.2.3 Lapisan Pondasi Atas (Base Course) 6
II.2.4 Lapisan Permukaan (Surface Course) 7
II.3 Lapisan Aspal Beton 7
II.4 Bahan Penyusun Lapis Aspal 9
II.4.1 Aspal 9
II.4.2 Agregat 14
II.5 Pemadatan Aspal 21
II.5.1 Faktor Pengaruh Pemadatan 22
II.6 Limbah Cangkang Sawit 25
II.7 Bahan Pengisi (filler) 26
II.8 Karakteristik Marshall 26
II.8.1 Stabilitas 27

II.8.2 Kelelehan (*Flow*) 28
II.8.3 Marshall Quotient (MQ) 28
II.8.4 VMA (Void In Mineral Agregat) 29
II.8.5 VIM (Void In Mineral) 29
II.8.6 Kepadatan 29
II.9 Pengujian Cantabro 30
II.10 Penelitian Terdahulu 31
BAB III METODE PENELITIAN 35
III.1 Waktu dan Lokasi Penelitian 35
III.2 Alat dan Bahan 35
III.2.1 Alat Yang Digunakan Dalam Peneliltian 35
III.2 Bahan Yang Digunakan Dalam Penelitian 36
III.3 Pelaksanaan Penelitian 36
III.4 Langkah Kerja 37
III.4.1 Prosedur Pelaksanaan 37
DAFTAR PUSTAKA 41

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Komponen Struktur Perkerasan Lentur 5
Gambar II. 2 Pemadatan Campuran Aspal 21
Gambar II. 3 Limbah Cangkang Sawit 26
Gambar III. 1 Lookasi Penelitian 35
Gambar III. 2 Diagram Alir Penelitian 40

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Ketentuan sifat campuran laston yang dimodifikasi (AC modified) 8
Tabel II. 2 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Minyak Pen 60/70 12
Tabel II. 3 Ketentuan Agregat Kasar 16
Tabel II. 4 Ketentuan Agregat Halus 17
Tabel II. 5 Spesifikasi Agregat Halus Untuk Campuran Aspal 19
Tabel II. 6 Spesifikasi Agregat Kasar Untuk Campuran Aspal 20
Tabel II. 7 Spesifikasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal 20
Tabel III. 1 Alat Pengujian Aspal 35
Tabel III. 2 Alat Pengujian Agregat 36
Tabel III. 3 Pengujian Agregat Halus 38
Tabel III. 4 Pengujian Agregat Kasar 38
Tabel III. 5 Jumlah Benda Uji 39

BAB I
PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Negara-negara Asia memiliki curah hujan dan kelembapan yang relatif signifikan, sehingga iklim secara keseluruhan lembab. Kerusakan jalan di Indonesia 40% disebabkan oleh air dan 30% disebabkan oleh kelebihan muatan dan sisanya karena bencana alam (Kemenhub, 2014). Kerusakan jalan di ibu kota dan kota-kota terdekat. Kerusakan jalan seringkali menyebabkan kerusakan ringan hingga serius pada kendaraan kita. Akibatnya, kita membahayakan keselamatan kita sebagai pengguna jalan. Kerusakan terjadi akibat faktor cuaca, kontur tanah yang tidak stabil, bahkan kualitas aspal yang buruk semuanya dapat menyebabkan kerusakan. Jumlah kendaraan yang melintas di jalur tersebut cukup banyak, terutama didominasi oleh truk-truk besar. Ini meningkatkan tekanan pada tanah, menciptakan lapisan aspal tidak stabil dan tidak rata. Oleh karena itu perlu menjadi pertimbangan dan perhatian khusus Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang Provinsi Sulawesi Selatan.

Penggunaan aspal sebagai bahan konstruksi jalan telah menjadi salah satu pilihan yang umum digunakan di seluruh dunia. Namun, semakin terbatasnya pasokan material pada campuran aspal yang berkualitas dan semakin meningkatnya harga bahan tersebut telah menimbulkan kekhawatiran dalam industri konstruksi jalan. Oleh karena itu, alternatif pengganti material pada campuran aspal perlu dipertimbangkan. Aspal Beton (AC) adalah salah satu material konstruksi jalan yang sangat umum digunakan di Indonesia. Campuran Aspal Beton dengan agregat kasar (AC-WC) digunakan untuk memenuhi kebutuhan struktural dan fungsional pada jalan raya. Namun, penggunaan agregat kasar yang semakin meningkat menyebabkan pengurangan sumber daya alam yang semakin terbatas, serta meningkatkan biaya produksi dan transportasi material.

Oleh karena itu, alternatif bahan pengganti agregat kasar sangat dibutuhkan. Salah satu bahan pengganti agregat kasar yang berpotensi adalah cangkang sawit. Daerah dengan produksi sawit terbesar di Indonesia terdiri dari Riau dengan luas

areal 2.741.621 ha, Kalimantan barat 2.017.456 ha, Kalimantan Tengah 1.922.083 ha, Sumatera utara 1.373.273 ha dan Kalimantan Timur 1.254.224 ha

Cangkang Sawit merupakan limbah pertanian yang dihasilkan dari pengolahan kelapa sawit. Sebagai bahan pengganti agregat kasar , cangkang sawit memiliki sifat fisik dan mekanik yang cukup baik. Seperti kekerasan, berat jenis dan daya serap air. Namun, sebelum bahan pengganti agregat kasar digunakan secara luas pada campuran AC-WC, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat-sifat campuran tersebut. Salah satu sifat yang sangat penting adalah stabilitas campuran. Stabilitas campuran AC-WC yang baik diperlukan untuk menjamin keberlangsungan jalan raya yang aman dan nyaman untuk digunakan.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji **"Studi Pengaruh Penggunaan Cangkang Sawit Sebagai Subtitusi Agregat Kasar Terhadap Campuran AC-WC Menggunakan Spesifikasi Bina Marga 2018".** Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang bermanfaat bagi industri konstruksi jalan raya dalam mengembangkan bahan pengganti agregat kasar yang ramah lingkungan dan dapat meningkatkan efisiensi produksi serta kualitas jalan yang dihasilkan.

I.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa nilai Kadar Aspal Optium (KAO) yang digunakan pada campuran aspal AC-WC?
2. Bagaimana nilai karakteristik *marshall* terhadap camparan aspal AC-WC mengguunakan cangkang sawit?
3. Bagaimana pengaruh cangkang sawit terhadap nilai *Cantabro* (abrasi) campuran AC-WC?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) terhadap campuran perkerasan jalan AC/WC menggunakan cangkang Sawit

2. Mengetahui pengaruh Cangkang Sawit terhadap Nilai Cantabro (abrasi) campuran aspal AC-WC
3. Mengetahui nilai karakteristik *marshall* campuran perkerasan jalan AC/WC menggunakan cangkang Sawit

I.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Menjadi inovasi penggunaan material-material baru, cangkang sawit sebagai pengganti agregat kasar
2. Memberikan solusi pada pengolahan limbah industri
3. Menggunakan kadar aspal optimum yang terbaik agar dapat meningkatkan kualitas campuran yang dihasilkan.
4. Memberikan referensi bagi penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan cangkang sawit

I.5 Batasan Masalah

1. Pengujian dan pengambilan data yang dilakukan berdasarkan skala laboratorium.
2. Spesifikasi aspal beton AC-WC yang digunakan yaitu Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Kementrian Pekerjaan Umum 2018
3. Menggunakan penetrasi 60/70.
4. Tumbukan 2x75 Bina Marga 2018
5. Variasi cangkang sawit yang digunakan adalah 0% 50% 100% sebagai agregat kasar
6. Pengujian yang dilaksanakan dalam penelitian ini yaitu *Marshall Test* dan *Cantrabro Loss*

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

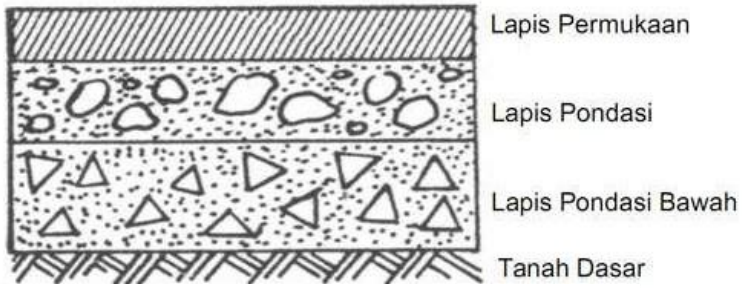
II.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah suatu campuran dari agregat dan bahan pengikat yang ditempatkan di atas tanah dasar melalui pemadatan, bertujuan untuk melayani beban lalu lintas dan mengurangi tegangan yang dihasilkan oleh beban roda sehingga mencapai tingkat nilai yang dapat diterima oleh tanah yang menopang beban tersebut. Fungsinya sebagai lapisan perkerasan antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan yang memberikan pelayanan kepada sarana transportasi dan diharapkan dapat bertahan selama masa pelayanan tanpa kerusakan yang signifikan. Perkerasan jalan adalah lapisan yang ditempatkan di antara tanah dasar dan roda kendaraan dengan tujuan memberikan pelayanan yang optimal dan menghindari kerusakan yang signifikan selama digunakan. Untuk memastikan kualitas yang diinginkan dari perkerasan jalan, pengetahuan tentang sifat, sumber daya, dan pemrosesan bahan yang digunakan dalam pembuatannya sangat penting(Lala Riyadi, 2020).

II.2 Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur merupakan perkerasan jalan yang terdiri dari lapisan aspal (atau beton aspal) yang ditempatkan di atas lapisan bawah yang lebih keras, seperti agregat dan lapisan dasar. Tujuannya adalah untuk menahan beban lalu lintas dan melindungi lapisan dasar dari kerusakan. Perkerasan lentur biasanya digunakan pada jalan raya atau jalan arteri dengan lalu lintas mulai dari ringan dan berat, karena memiliki kemampuan yang baik dalam menahan beban dan deformasi. (Anas Tahir, 2018)Kelebihan dari perkerasan lentur adalah kemampuannya dalam menyerap getaran dan suara yang dihasilkan oleh lalu lintas, sehingga memberikan kenyamanan bagi pengguna jalan. Namun, perkerasan lentur juga memerlukan biaya perawatan yang cukup tinggi, terutama pada daerah yang sering digunakan oleh lalu lintas berat.

\Perkerasan jalan terdiri dari beberapa komponen utama yang berfungsi untuk menahan beban lalu lintas dan menyebarkannya secara merata ke lapisan bawahnya. Berikut adalah komponen utama dari perkerasan jalan:



Gambar II. 1 Komponen Struktur Perkerasan Lentur

II.2.1 Lapisan Tanah Dasar

Tanah dasar (subgrade) adalah lapisan tanah yang terletak di bawah semua lapisan perkerasan jalan dan berfungsi sebagai penopang struktur perkerasan. Tanah dasar harus memiliki daya dukung yang cukup dan kemampuan drainase yang baik. (Zainal Safariska, 2020)Lapisan ini bila mana elevasi tanah aslinya berada di bawah permukaan rencana maka tanah urugan dengan kualitas yang memenuhi persyaratan dan ketentuan, nilai CBR nya minimal 6% dan urugan pilihan minimal 10%. Lapisan tanah bawah berfungsi sebagai berikut :

1. Menahan beban: Lapisan tanah bawah harus mampu menahan beban yang diberikan oleh kendaraan yang melintas di atasnya. Oleh karena itu, sifat-sifat geoteknik dari tanah dasar seperti kekuatan tekuk, kekuatan geser, dan kepadatan harus dipertimbangkan selama perencanaan dan desain perkerasan jalan.
2. Meminimalkan pergerakan: Tanah dasar juga harus dapat meminimalkan pergerakan vertikal dan horizontal dari perkerasan jalan karena beban lalu lintas. Jika terjadi pergerakan yang signifikan, maka perkerasan jalan akan mengalami kerusakan, seperti retak, deformasi, atau bahkan keruntuhan.
3. Mengatur drainase: Tanah dasar harus memiliki kemampuan drainase yang baik, yaitu kemampuan untuk menyalurkan air dan kelebihan air dari permukaan jalan ke bawah tanah. Drainase yang buruk dapat menyebabkan penumpukan air dan akhirnya merusak perkerasan jalan.

II.2.2 Lapisan Pondasi Bawah (Subbase Course)

Lapisan pondasi bawah merupakan Lapisan pondasi bawah (subbase course) merupakan lapisan yang berada di bawah lapisan pondasi atas dan berfungsi untuk menahan beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan bawahnya. (Nurhayati Doda, 2022)Lapisan ini biasanya terbuat dari campuran agregat kasar dan bahan pengikat, seperti semen atau aspal. Lapisan pondasi bawah berfungsi sebagai berikut :

1. Menopang beban lalu lintas: Lapisan pondasi bawah berfungsi sebagai penopang bagi lapisan pondasi atas dan lapisan aus, sehingga mampu menahan dan mendistribusikan beban lalu lintas ke seluruh lapisan perkerasan jalan secara merata. Tanpa lapisan pondasi bawah, lapisan permukaan dan lapisan aus akan mudah rusak akibat beban yang terlalu besar.
2. Mengatur kestabilan: Lapisan pondasi bawah juga berfungsi untuk memberikan kestabilan pada perkerasan jalan dan mencegah pergerakan yang tidak diinginkan. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan material yang memiliki stabilitas yang baik, seperti agregat dengan gradasi yang tepat dan bahan pengikat yang kuat.
3. Meningkatkan drainase: Lapisan pondasi bawah juga dapat berfungsi sebagai lapisan drainase, yaitu membantu menyalurkan air dan kelebihan air dari permukaan jalan ke bawah perkerasan jalan dan ke lapisan bawahnya. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan material yang porositasnya tinggi dan memiliki daya serap air yang baik.
4. Menyerap getaran: Lapisan pondasi bawah juga dapat menyerap getaran yang disebabkan oleh kendaraan yang melintas di atasnya. Hal ini dapat mengurangi kebisingan dan getaran pada lingkungan sekitar jalan, serta memperpanjang umur pakai perkerasan jalan.

II.2.3 Lapisan Pondasi Atas (Base Course)

Lapisan pondasi atas berada diantara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan. Lapisan pondasi atas berfungsi sebagai berikut :

1. Sebagai bantalan terhadap lapis permukaan.
2. Sebagai lapisan apabila air hujan merembes lewat retakan atau sambungan.
3. Menerima gaya gesr yang di timbulkan roda dan mentransfer ke bagian bawah.

II.2.4 Lapisan Permukaan (Surface Course)

Lapisan permukaan atau lapisan paling atas pada perkerasan jalan bertujuan untuk memberikan permukaan yang halus dan rata bagi pengguna jalan.

1. Sebagai lapis aus yang menerima beban pertama dari gesekan akibat rem kendaraan
2. Sebagai lapis perkerasan penahan beban roda yang memiliki stabilitas tinggi selama masa pelayanannya.
3. Sebagai lapis kedap air hujan dan tidak meresap di permukaan, dengan tujuan untuk mencegah kerusakan pada lapisan bawah
4. Menghantarkan beban kebawahnya

II.3 Lapisan Aspal Beton

Menurut Sukirman (2007), aspal adalah suatu bahan campuran yang terdiri dari fraksi berat minyak bumi yang meliputi bitumen, pasir, dan agregat lainnya yang dihasilkan dari proses pengolahan minyak bumi. Bahan ini umumnya digunakan sebagai lapisan permukaan jalan dan bahan bangunan. Aspal memiliki sifat yang kental dan lengket pada suhu ruang, namun dapat menjadi lebih cair saat dipanaskan. Karena sifat-sifat ini, aspal sering digunakan sebagai pengikat pada campuran jalan raya, dan juga sebagai bahan pelapis atap, lantai, dan dinding bangunan. aspal beton merupakan lapisan dari konstruksi jalan raya, yang terbuat dari dari campuran aspal keras dan agregat yang terus menerus (well graded), mencampur, menghamparkan kemudian dipadatkan dalam kondisi suhu yang panas. Aspal beton memiliki sifat kedap air, memiliki nilai struktural, awet, kadar pada aspal berkisar 4-7% terhadapt berat keseluruhan campuran dan dapat digunakan unuk lalu lintas ringan, sedang hingga berat(Wandrian Jeftanus Tamarron, 2023).

Jenis agregat yang di pakai antara lain; agregat kasar, agregat halus dan filler kemudian aspal digunakan sebagai bahan pengikat pada laston harus terdiri dari aspal keras dengan penetrasi 40/50, 60/70 dan 80/100 yang seragam, tidak memiliki campuran air bila dipanaskan sampai suhu 175°C tidak berbusa dan memenuhi spesifikasi. Lapisan aspal beton (laston) diproduksi dengan tujuan untuk memberikan permukaan jalan lapisan atas atau tengah (pengikat) yang memberikan kapasitas beban terukur dan berfungsi sebagai lapisan kedap air yang dapat melindungi struktur di bawahnya.

Lapisan aspal beton mempunyai tiga macam campuran, AC Lapis Aus (AC-Wearing Course,AC-WC), AC Lapis *Between* (AC-Binder Course,AC-BC) dan AC Lapis *foundation* (AC-Base). Ukuran agregat maksimum untuk setiap lapisan adalah 19mm untuk AC-WC, 25,4 mm untuk AC-BC dan 37,5 untuk AC-Base. (Daniel Tingkas, n.d.)Laston merupakan lapisan perkerasan yang aus dan erat sangat kaitannya dengan beban kendaraan dan lingkungan (AC- Wearing Course, AC-WC).

Tabel II. 1 Ketentuan sifat campuran laston yang dimodifikasi (AC modified)

sifat-sifat campuran		Lapis Aspal Beton (Laston)		
		Lapis aus	Lapis antara	Pondasi
jumlah tumbukan per bidang		75		112
rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	1,0		
	Maks	1,4		
rongga dalam campuran (%)	Min	3,0		
	Maks	5,0		
rongga dalam agregat (%)	Min	15	14	13
rongga terisi aspal (%)	Min	65	65	65

stabilitas marshall (kg)	Min	1000	2250
pelelehan (mm)	Min	2	3
	Maks	4	6

Sumber : spesifikasi bina marga 2018

Lapisan permukaan, lapisan perata dan lapisan pengikat sering digunakan untuk lapisan beton aspal. Masing-masing dari tiga kegunaan memiliki persyaratan unik untuk campuran. Sebagian besar waktu, agregat yang digunakan memiliki gradasi padat, sedikit ruang udara di antara mereka, dan sedikit aspal. Retakan perkerasan sering kali merupakan tanda pertama kerusakan beton aspal. Hal ini karena ada sedikit ruang antara agregat dalam beton aspal, yang menghasilkan sedikitnya aspal yang menutupi butiran agregat(Kementrian PUPR, n.d.). Karena itu, lapisannya kurang kedap air, aspal lebih mudah teroksidasi, dan mudah lepas dari agregat, melepaskan butiran.

II.4 Bahan Penyusun Lapis Aspal

Menurut Kimpraswil (2002), bahan penyusun perkerasan aspal terdiri dari aspal, agregat kasar, agregat halus.

II.4.1 Aspal

Aspal adalah bahan konstruksi yang umum digunakan dalam industri konstruksi jalan dan bangunan. Ini juga dikenal dengan sebutan aspal, bitumen, atau tar. Aspal atau bitumen merupakan bahan yang berasal dari hasil pengolahan minyak bumi. Proses pembuatan aspal melibatkan fraksi minyak mentah yang kaya akan hidrokarbon berat, dan ini biasanya merupakan hasil samping dalam produksi minyak bumi.Aspal biasanya ditemukan dalam bentuk cairan lengket yang berasal dari hasil pengolahan minyak bumi. Ketika digunakan dalam konstruksi jalan, aspal dicampur dengan agregat seperti batu kerikil dan pasir untuk membentuk campuran aspal yang kuat yang dapat digunakan sebagai lapisan permukaan jalan. Banyaknya aspal pada campuran perkerasan berkisar antara 4-10% berdasarkan berat campuran atau 10-15% berdasarkan volume campuran.

A. Sifat Aspal

Dalam pembuatan perkerasan jalan, aspal sering berfungsi sebagai pengikat dan pengisi celah udara antar partikel. Akibatnya, menurut Sukirman (1993), aspal yang digunakan harus sebagai berikut :

1. Mempunyai Daya Tahan (Durability)

   Agar aspal dapat mempertahankan kualitas aslinya di bawah pengaruh kondisi cuaca selama masa manfaat jalan, aspal harus tahan lama. Sifat ini melekat pada campuran aspal, artinya dipengaruhi oleh sifat agregat, campuran aspal, faktor pelaksanaan, dan variabel lainnya.

2. Kohesi dan Adhesi

   Kapasitas aspal untuk menghubungkan bagian-bagian komponennya bersama-sama untuk menghasilkan aspal yang sangat aktif dikenal sebagai kohesi. Sedangkan adhesi mengacu pada kemampuan aspal untuk melekat pada agregat dan mempertahankannya pada tempatnya setelah merekat.

3. Kepekaan Terhadap Temperatur

   Indeks penetrasi aspal merupakan salah satu cara untuk menunjukkan kualitas viskoelastik dari kepekaan aspal terhadap suhu, yang peka terhadap variasi suhu (IP). Angka IP yang tinggi berarti aspal akan kurang sensitif terhadap variasi suhu. Akibatnya, campuran yang terbuat dari aspal yang mempunyai nilai IP tinggi akan mampu menahan rentang suhu pencampuran dan pemadatan yang lebih luas daripada campuran yang dibuat dari aspal dengan nilai IP rendah.

4. Kekerasan Aspal

   Kekerasan aspal adalah salah satu karakteristik penting yang digunakan untuk mengukur kemampuan aspal untuk menahan beban dan tekanan. Kekerasan ini biasanya diukur dengan menggunakan tes tertentu yang disebut tes kekerasan aspal atau tes kekerasan bitumen. Metode yang paling umum digunakan untuk mengukur kekerasan aspal adalah metode penetrometer. Tes penetrometer melibatkan penggunaan alat penetrometer yang menekan jarum ke permukaan aspal untuk menentukan sejauh mana

jarum tersebut dapat menembus aspal dalam kondisi tertentu. Nilai yang diukur dalam tes ini disebut nilai penetrasi, dan itu menggambarkan seberapa lunak atau keras aspal tersebut(Kementrian PUPR, n.d.).

5. Viskoelastisitas aspal

Viskoelastisitas aspal merupakan sifat kompleks yang menggambarkan bagaimana aspal berperilaku sebagai kombinasi antara cairan (viskosa) dan padatan (elastis) pada saat yang sama dalam respons terhadap beban atau stres yang diterapkan. Ini adalah sifat penting dari aspal yang memengaruhi kinerjanya dalam aplikasi konstruksi, khususnya dalam jalan raya.

B. Jenis Aspal

1. Aspal Alam

Aspal alam adalah aspal yang telah mengalami sedikit proses pengolahan agar menjadi bermanfaat. Aspal alam lainnya terdapat di danau-danau seperti Trinidad, sedangkan sebagian lagi ditemukan di pegunungan seperti di pulai Buton (Asbuton).

2. Aspal minyak

Aspal minyak adalah hasil sampingan dari proses penyulingan minyak bumi di kilang minyak yang dianggap tidak lagi menguntungkan secara ekonomi. Bahan ini dikelompokkan menjadi tiga kelas berdasarkan indeks penetrasi: Pen 40/50, Pen 60/70, dan Pen 80/100. Semakin rendah angka penetrasinya, semakin keras aspalnya, sehingga semakin sulit untuk dikelola karena membutuhkan suhu yang lebih tinggi untuk membuatnya menjadi lunak atau cair. sudut pandang yang berbeda, semakin tinggi tingkat penetrasi aspal, maka akan semakin mudah untuk mengencerkannya dan mempermudah pengolahannya. (ResearchGate, n.d.)Namun, terdapat risiko sulit mencapai stabilitas campuran aspal, terutama di daerah dengan iklim panas seperti Indonesia, karena pada suhu udara yang tinggi, aspal cenderung menjadi lunak. Aspal minyak merupakan zat cair yang bersifat lengket, berwarna hitam atau cokelat, memiliki sifat viskoelastis, tahan

terhadap air, dan sebagian besar terdiri dari hidrokarbon. Untuk perkerasan jalan umumnya digunakan aspal minyak jenis *asphaltic base crude oil.*

Tabel II. 2 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Minyak Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil
1	Berat Jenis	≥ 1,0	1,09
2	Penetrasi (mm)	≥ 60-70	61,6
3	Daktalitas (cm)	≥ 100	164
4	Titik Nyala (ºC)	≥ 232	312
5	Kelarutan TCE (%)	≥ 99	99,47
6	Titik Lembut (ºC)	≥ 48	48

Sumber : PT. Summitama Intinus,2012

Aspal minyak dihasilkan dari residu destilasi minyak bumi, di mana setiap jenis minyak bumi menghasilkan residu minyak mentah yang berbasis aspal, parafin, atau campuran keduanya. Jenis aspal minyak yang biasanya digunakan untuk perkerasan jalan adalah aspal minyak berbasis *asphaltic base crude oil*. Untuk perkerasan jalan umumnya digunakan aspal minyak jenis asphaltic atau petroleom asphlat, Aspal yang digunakan pada suhu panas dibagi menjadi tiga kategori: aspal keras, aspal panas, dan aspal semen. Bila disimpan pada suhu kamar (250–300 °C), aspal ini berbentuk padat. Aspal terberat dan jenis aspal buatan yang diproduksi langsung dari penyaringan oli. Menurut tingkat kekerasan atau viskositasnya, semen aspal diklasifikasikan sebagai berikut :

1) AC 40-50
2) AC 60-70
3) AC 85-100
4) AC 120-150
5) AC 200-300

Angka-angka ini menggambarkan kekerasan aspal, dengan AC 40-50 menjadi yang paling keras dan AC 200-300 sebagai yang paling lembut. Seberapa jauh jarum dapat menembus sampel aspal menentukan

kekerasannya. Aspal dengan penetrasi rendah digunakan di lokasi dengan iklim panas atau lalu lintas padat. Untuk daerah dengan cuaca dingin dan volume lalu lintas rendah, aspal penetrasi digunakan. Aspal biasanya digunakan di Indonesia dengan penetrasi antara 60 dan 70 dan 80 dan 100. Tergantung pada jenis minyak bumi yang digunakan dan metode pengolahannya, aspal memiliki kandungan dari senyawa nitrogen, hidrokarbon, dan logam lainnya. Unsur-unsur penyusun aspal dapat digunakan untuk menentukan kualitas kimianya. Komponen penyusun aspal telah dipelajari dengan menggunakan berbagai teknik saat ini. Secara umum, minyak, resin, dan asphaltenes membentuk susunan kimiawi aspal. Tidak larut dalam nheptana, senyawa hidrokarbon, yang biasanya berwarna hitam atau coklat tua, merupakan mayoritas dari asphaltenes. Zat yang disebut maltenese digunakan untuk membubarkan asphaltene. Maltenedese dapat dilarutkan dalam haptane, cairan kental yang sebagian besar terbuat dari minyak dan resin. Selama umur jalan, resin—cairan coklat tua yang memberikan sifat adhesi aspal—adalah bagian yang mudah hilang / aus. Media aspal, asphaltene, dan resin diwakili oleh minyak berwarna lebih terang. Maltenes adalah zat yang mudah rentan terhadap variasi suhu dan masa pakai.

C. Jenis Aspal Berdasarkan Bentuknya

1. Aspal padat

   Aspal dengan bentuk padat atau setengah padat pada suhu kamar dan meleleh ketika dipanaskan disebut sebagai aspal padat. aspal padat biasa diberi nama semen aspal. Untuk menggunakan aspal padat untuk mengikat agregat, terlabih dahulu harus dipanaskan.

2. Aspal cair

   Aspal yang berbentuk cair pada temperatur normal disebut aspal cair. Aspal yang telah dicairkan menggunkaan liquefuer dari produk minyak bumi seperti minyak tanah, bentis atau solar yang dikenal sebagai aspal cair.

3. Aspal emulsi

Aspal yang dikombinasikan dengan air dan pengemulsi dikenal sebagai aspal emulsi. Dibandingkan dengan aspal cair, aspal emulsi lebih cair. Untuk menghindari pembentukan partikel yang lebih besar, emulsi aspal diisi secara elektrik.

II.4.2 Agregat

Secara umum agregat dari kulit bumi yang keras dan padat. agregat dalam bentuk mineral padat yang berskala besar atau pun berupa fragmen-fragmen. Komponen utama dari konstruksi perkerasan jalan adalah agregat, yang menyumbang 90-95% dari presentasi berat atau 75-85% dari presentasi volume. Jenis batuan aspal yang digunakan menentukan karakteristik agregat galian yang dihasilkan. Batuan beku, sedimen, dan metamorf merupakan 3 (tiga) jenis batuan aspal yang berbeda. Magma cair yang membentuk batuan beku berbutir kasar seperti granit semakin mendingin. batuan beku seperti basalt berbutir halus yang berlapis dan dihasilkan oleh pendinginan yang dipercepat. Karakteristik teknis batuan beku pada umumnya adalah ketika digunakan sebagai bahan bangunan memiliki karakteristik bahan berkualitas tinggi yang bersifat keras dan tahan lama; bantalan memiliki kapasitas besar dan sangat baik untuk menopang pondasi suatu bangunan.

Endapan sedimen dan mineral di dasar laut dipadatkan secara kimiawi untuk menghasilkan batuan sedimen. Berikut adalah beberapa contoh jenis batuan sedimen dan susunan kimianya : Kalsium sulfat, konglomerat (kerikil), rijang (pasir halus), serpihan lempung (clay), dolomit (kalsium karbonat dan magnesium karbonat), batupasir (kuarsa), kalsium karbonat. Karakteristik umum batuan sedimen adalah : setelah direndam dalam air selama beberapa hari serpihan biasanya menjadi lunak; jarak sambungan batu pasir biasanya cukup besar; kekuatan batu gamping bervariasi dari lunak sampai keras(Bina Marga 2018, n.d.).

Batuan sedimen yang telah mengalami metamorfisme (perubahan) akibat tekanan kuat dikenal sebagai batuan metamorf. Slate (serpih), marmer (batu kapur), kuarsit (batu pasir), dan gneiss (granit) adalah beberapa contoh. Sifat – sifat agregat antara lain adalah :

1. Daya Tahan Agregat

Kekuatan agregat adalah agregat tidak hancur/pecah oleh pengaruh mekanis atau kimia. Degradasi didefinisikan sebagai pemecahan agregat menjadi partikel-partikel yang lebih kecil akibat gaya yang diberikan pada waktu penimbunan, pemadatan ataupun oleh beban lalu lintas. Faktor yang mempengaruhi tingkat degradasi :

1) Jenis agregat, jenis agregat yang lunak degradasi yang lebih besar dari agregat yang lebih keras,
2) Gradasi, gradasi terbuka memiliki tingkat degradasi yang lebih besar dari pada gradasi rapat,
3) Bentuk, partikel bulat akan mengalami degradasi yang lebih besar dari yang berbentuk kubus/bersudut,
4) Ukuran partikel, partikel yang lebih kecil mempunyai tingkat degradasi yang lebih rendah dari pada partikel dengan ukuran besar,
5) Energi pemadatan, degradasi akan terjadi lebih besar pada pemadatan dengan menggunakan energi pemadatan yang lebih besar.

2. Bentuk dan tekstur agregat

1) Bulat, yaitu agregat yang berada di sungai, pada umumnya telah mengalami pengikisan oleh air sehingga umumnya berbentuk bulat;
2) Lonjong, dikatakan bila ukuran panjangnya >1,8 kali diameter rata-rata;
3) Kubus, jenis agregat hasil dari mesin pemecah batu (*crusher stone)* yang mempunyai bidang kontak yang lebih luas, (berbentuk bidang rata sehingga memberikan interlocking/saling mengunci yang lebih besar);
4) Pipih, bisa dari mesin pemecah batu maupun memang merupakan sifat dari agregat tersebut yang jika dipecahkan cenderung berbentuk pipih;
5) Tak beraturan, merupakan agregat yang tidak sesuai ciri yang disebutkan di atas.

Berdasarkan besar partikel-partikel agregat dibedakan atas:

a. Agregat kasar

Agregat kasar tertahan sang batuan pada ayakan 2,36 mm, atau sama menggunakan ASTM No. 8. Pada adonan agregat bitumen, agregat kasar sangat krusial pada unjuk kerja pembentukan lantaran kestabilan adonan di peroleh menggunakan adanya interlocking antara agregat. Agregat kasar berfungsi buat memberi kekuatan dalam adonan & buat memperluas mortar,sebagai akibatnya adonan sebagai lebih mudah. Kandungan agregat kasar yang tinggi menciptakan lapisan perkerasan lebih permeabel. Hal ini mempertinggi rongga udara, sebagai akibatnya air bisa masuk menggunakan gampang & daya lekat aspal berkurang sebagai akibatnya mengakibtkan aspal terlepas menurut batuan. Agregat kasar dalam biasanya wajib memenuhi persyaratan yg di tentukan pada Tabel II. 3 yg memuat ketentuan buat agregat kasar diberikan pada bawah ini.

Tabel II. 3 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		**Standar**	**Nilai**
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium Sulfat	SNI 3407:2008	Maks.12 %
	Magnesium Sulfat		Maks. 18 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC bergradasi Kasar	SNI 2417:2008	Maks. 30%
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya		Maks. 40%

Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439:2011	Min. 95 %
Angularitas (kedalaman dari permukaan <10 cm)	DoT's Pennsylvania Test Method, PTM No.621	95/90 1
Angularitas (kedalaman dari permukaan ≥ 10 cm)		80/75 1
Partikel Pipih dan Lonjong	ASTM D4791-10 Perbandingan 1 :5	Maks. 10 %
Material lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 1 %

Sumber : Dokumen pelelangan nasional pekerjaan jasa pelaksanaan konstruksi, Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6 Tabel 6.3.2.(1a)

b. Agregat halus

Agregat halus yaitu batuan yang lolos saringan No.8 (2,36 mm). & tertahan dalam saringan No. 200 (0,075 mm). Fungsi primer agregat halus merupakan menaruh stabilitas & mengurangi deformasi tetap menurut adonan melalui interlocking & goresan antara partikel. Bahan ini bisa terdiri menurut btiran-butiran batu pecah atau pasir alam atau adonan menurut keduanya tertera dalam Tabel II.4.

Tabel II. 4 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	**Metode Pengujian**	**Nilai**
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min 50%
Kadar Rongga Tanpa Pemadatan	SNI 03-6887-2002	Min 45%
Gumpalan Lembung dan butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Material Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

Sumber : Dokumen pelelangan nasional pekerjaan jasa pelaksanaan konstruksi, Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6 Tabel 6.3.2.2

c. Sifat agregat

Ciri-ciri agregat yang menentukan mutunya sebagai bahan pelapis jalan adalah ukuran partikel, kekerasan, kebersihan, struktur permukaan, porositas, daya serap air, berat jenis dan kerekatan pada aspal. Properti agregat yang perlu diverifikasi meliputi:

a) Gradasi

Gradasi adalah susunan butiran agregat menurut ukurannya, hal itu penting dalam menentukan kestabilan perkerasan, Mempengaruhi volume rongga (void), kemampuan kerja dan kestabilan dalam campuran. Gradasi agregat merupakan campuran berbagai diameter butir agregat yang membentuk komposisi campuran tertentu. Ditentukan melalui analisa ukuran butir dengan menggunakan 1 set ayakan (dengan ukuran ayakan 19,1 mm; 12,7 mm; 9,52 mm; 4,76 mm; 2,38 mm; 1,18 mm; 0,59 mm; 0,149 mm; 0,074 mm) dimana saringan yang paling kasar ditempatkan pada bagian atas dan saringan yang paling halus diletakkan pada bagian bawah, dimulai dari panci dan diakhiri dengan tutupnya(Wandrian Jeftanus Tamarron, 2023).

Gradasi agregat secara umum dapat dikelompokkan sebagai berikut: gradasi seragam, gradasi padat (gradasi padat/gradasi baik).

Gradasi seragam adalah agregat yang hanya terdiri atas butir-butir agregat yang ukurannya sama atau hampir sama. Campuran beton aspal berbahan agregat bergradasi mempunyai sifat banyak rongga, permeabilitas tinggi, stabilitas rendah, dan kepadatan rendah.

Gradasi padat/bergradasi baik, dimana ukuran butir dari kasar hingga halus tersebar merata dalam satu rentang ukuran butir atau sering disebut dengan gradasi kontinyu. Campuran dengan 11 gradasi ini akan mempunyai kestabilan yang tinggi, kedap air yang meningkat dan mempunyai berat jenis yang lebih besar.

Sedangkan gap graded/poorly graded adalah distribusi ukuran butir yang tidak kontinyu atau tidak ada bagian ukuran, bila jumlahnya sangat kecil.

Tabel II. 5 Spesifikasi Agregat Halus Untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan		**% Berat Yang Lolos LASTON (AC)**		
		Gradasi Halus		
(Inci)	**(mm)**	**AC-WC**	**AC-BC**	**AC-Base**
$1_{1/2}$"	37,5	-	-	100
1"	25	-	100	90 – 100
3/4"	19	100	90 – 100	73 – 90
1/2"	12.5	90 – 100	74 – 90	61 – 79
3/8"	9.5	72 – 90	64 – 82	47 – 67
No.4	4.75	54 – 69	47 – 64	39,5 – 50
No.8	2.36	39,1 – 53	34,6 – 49	30,8 – 37
No.16	1.18	31,6 – 40	28,3 – 38	24,1 – 28
No.30	0.6	23,1 – 30	20,7 – 28	17,6 – 22
No.50	0.3	15,5 – 22	13,7 – 20	11,4 – 16
No.100	0.15	9 – 15	4 – 13	4 – 10
No.200	0.075	4 – 10	4 – 8	3 – 6

Sumber: Dokumen pelelangan nasional pekerjaan jasa pelaksanaan konstruksi, Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6 Tabel 6.3.2.3

Tabel II. 6 Spesifikasi Agregat Kasar Untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan	**% Laston Yang Lolos LASTON (AC) Gradasi Kasar**			
(Inci)	**(mm)**	**AC-WC**	**AC-BC**	**AC-Base**
1 ½"	37.5	-	-	*100*
1"	25	-	100	90-100
¾"	19	100	90-100	73-90
½"	1,5	90-100	71-90	55-76
3/8"	9.5	72-90	58-80	45-66
No.4	4.75	43-63	37-56	28-39,5
No.8	2.36	28-39,1	23-34,6	19-26,8
No.16	1.18	19-25,6	15-22,3	12-18,1
No.30	0.6	13-19,1	10-16,7	7-13,6
No.50	0.3	9-15,5	7-13,7	5-11,4
No.100	0.15	6-13	5-11	4,5-9
No.200	0.075	4-10	4-8	3-7

Sumber: Dokumen pelelangan nasional pekerjaan jasa pelaksanaan konstruksi, Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6 Tabel 6.3.2.3

Tabel II. 7 Spesifikasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal

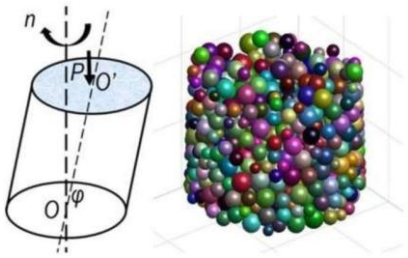
Ukuran Ayakan		**Kumulatif Berat Lolos Terhadap Total Agregat (%)**	
ASTM	**(mm)**	**Batas Bawah**	**Batas Atas**
3/4"	19	100	100

1/2"	12,5	90	100
3/8"	9,5	77	90
No. 4	4,75	53	69
No. 8	2,36	33	53
No. 16	1,18	21	40
No. 30	0,6	14	30
No. 50	0,3	9	22
No. 100	0,15	6	15
No. 200	0,075	4	9

Sumber : Spesifikasi Umum 2018

II.5 Pemadatan Aspal

Menurut Pratama (2011), pemadatan adalah proses yang bertujuan untuk memampatkan campuran aspal sehingga menghasilkan ketahanan atau stabilitas yang baik, serta memiliki rongga yang pas . Proses pemadatan campuran aspal



Gambar II. 2 Pemadatan Campuran Aspal

menggambarkan suatu mekanisme yang rumit yang dipengaruhi oleh banyak parameter. Parameter-parameter tersebut terkait dengan keberadaan rongga udara awal pada campuran aspal, ukuran dan bentuk butir agregat, kandungan serta viskositas aspal yang digunakan, ketebalan lapisan campuran aspal, metode pemadatan, jenis peralatan yang digunakan, dan tingkat pendinginan temperatur.

Terdapat tiga unsur gaya utama yang terjadi selama proses pemadatan, yaitu gaya tekan dari alat pemadat, gaya tahan dari campuran aspal yang telah dihampar, dan gaya tahan dari lapisan bawah yang telah stabil seperti lapisan pondasi agregat atau lapisan beraspal yang telah ada sebelumnya. Untuk memperoleh hasil pemadatan yang optimal, diperlukan keseimbangan antara gaya tahan lapisan yang telah stabil dan gaya tekan dari alat pemadat aspal. Dengan kata lain, campuran aspal seakan-akan menerima tekanan dari atas dan bawah. Jika lapisan bawah yang telah stabil belum mencapai kepadatan yang memadai, maka kemungkinan besar campuran aspal tidak akan memenuhi standar persyaratan untuk kepadatannya. Menurut Imannurrohman (2021), campuran aspal dan agregat yang direncanakan harus memenuhi karakteristik khusus agar dapat bertahan pada kondisi beban lalu lintas dan kondisi iklim tertentu, sehingga menghasilkan perkerasan jalan yang kuat, aman, dan nyaman. Pemadatan pada campuran aspal berongga dapat mempengaruhi daya tahan aspal dalam menahan beban lalu lintas yang berat, seperti truk kontainer, bus, atau kendaraan berat lainnya, terutama dalam hal nilai *Marshall*(Wandrian Jeftanus Tamarron, 2023).

II.5.1 Faktor Pengaruh Pemadatan

a. Suhu

Menurut Sugiarto et al. (2016), suhu pemadatan memiliki pengaruh besar terhadap nilai parameter Marshall. Kualitas jalan dapat dianggap aman dan nyaman atau sebaliknya tergantung pada nilai parameter Marshall yang dicapai. Dalam pelaksanaan pemadatan, diperlukan perhatian khusus terhadap suhu pemadatan, karena suhu ini dapat mempengaruhi stabilitas, kelelehan, dan nilai VIM pada campuran aspal. Pemadatan pada suhu 100°C - 115°C dapat menyebabkan agregat cepat terlepas, karena aspal yang digunakan pada saat pemadatan telah mengalami penurunan suhu, sehingga sulit untuk menyelimuti agregat secara merata. Di sisi lain, pemadatan pada suhu 160°C dapat merusak campuran aspal karena nilai VIM akan menurun, dan aspal yang sangat panas dapat kehilangan modulus elastisitasnya saat dicetak. Oleh karena itu, disarankan untuk memadatkan aspal pada suhu

145°C - 150°C, karena suhu ini telah terbukti memberikan nilai stabilitas terbaik dan lebih mudah untuk menyelimuti agregat secara *homogen*.

b. Faktor Pencampuran

- Perbandingan antara agregat dan aspal yang dirancang dalam gradasi harus sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Jika gradasi yang digunakan tidak sesuai, dapat berdampak negatif pada kualitas perkerasan lentur.
- Perkerasan jalan akan dipengaruhi oleh ukuran dan bentuk butir agregat yang digunakan, karena hal ini dapat memengaruhi umur dari perkerasan tersebut melalui indeks kepipihan dan kelonjongan yang harus sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.
- Bentuk permukaan atau pecahan (*fracture faces*) dari sebuah perkerasan adalah faktor yang mempengaruhi kualitas dari perkerasan dalam hal keselamatan dan kenyamanan berkendara.
- Volumetrik mengacu pada pengukuran volume briket campuran aspal setelah dipadatkan. Pengukuran volumetrik campuran aspal mencakup beberapa bagian, seperti volume total campuran aspal yang telah dipadatkan, volume rongga di antara butir agregat atau VMA, volume campuran aspal tanpa rongga, volume rongga dalam campuran atau VIM, volume rongga yang terisi oleh aspal atau VFA, dan volume aspal yang terserap oleh agregat (Yuliansyah dkk., 2015).
- Pada saat proses pencampuran aspal (*Aspal Binder*), faktor-faktor yang harus diperhatikan adalah sifat kimia, sifat fisik, dan jumlah aspal yang digunakan

c. Fakto Pengerjaan

Pemadatan campuran aspal pada jalan harus dilakukan dengan cermat dan sesuai dengan spesifikasi yang diatur oleh RKS karena akan mempengaruhi kualitas perkerasan. Jika pemadatan dilakukan dengan tidak benar dan tidak sesuai, dapat terjadi sejumlah risiko negatif, seperti:

1. Terjadi keruntuhan pada campuran aspal sebelum mencapai usia rencana.

2. Kurangnya jumlah pemadatan dapat menyebabkan agregat mudah terlepas.
3. Fleksibilitas aspal berkurang
4. Pengemudi merasa tidak nyaman saat melintas dikarenakan permukaan aspa yang tidak rata.

Faktor kesalahan manusia (*human error*) yang mempengaruhi kualitas pengerjaan konstruksi meliputi faktor konstruksi seperti ketepatan penggunaan alat, jenis alat yang digunakan, kecepatan dan waktu yang tepat saat melakukan pemadatan, jumlah lintasan pemadatan, dan ketebalan lapisan. Selain itu, faktor lain seperti suhu saat pencampuran dan pemadatan, penggunaan teknik pemadatan yang tidak tepat, serta kelengkapan alat pemadat (*foundation support*) juga berperan dalam menyebabkan kesalahan pengerjaan.

Teknik dasar pemadatan di Laboratorium:

a. Penumbukan aspal harus segera dilakukan setelah mencapai suhu pemadatan yang standar, dan tidak boleh ditunda secara tiba-tiba.
b. Pada saat proses penumbukan, *hummer* pemadat harus terus bergerak dan tidak boleh berhenti.
c. Penempatan *Hummer* besi harus sesuai dengan lingkaran *mold* dan roda penggerak harus menghadap ke campuran aspal.
d. Untuk memadatkan campuran aspal menggunakan *Hummer,* tidak boleh dilakukan pemadatan hanya pada satu bidang di tempat yang sama. Sebaliknya, benda uji harus dibalik di depan atau belakang arah sebelumnya.
e. Untuk menghindari kemiringan pada benda uji, tuas *Hummer* pemadat harus dipegang dengan posisi lurus.
f. Pemadatan kedua harus segera dilakukan setelah pemadatan awal.
g. Dianjurkan untuk mengikuti panduan suhu dan memastikan batas bawahnya tidak dilampaui.

II.6 Limbah Cangkang Sawit

Tidak hanya dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm), cangkang kelapa sawit (*palm kernel shell*/PKS) juga dapat dimanfaatkan untuk keperluan pemanasan agregat tanpa penurunan kualitas campuran aspal panas (*Asphalt Hotmix*). Peneliti Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Sebelas Maret (UNS), Dr. Sunu Herwi Pranolo, S.T., M.Sc menjelaskan, cangkang kelapa sawit dipilih karena nilai kalori pembakaraanya relatif tinggi yakni 17 – 19 MJ/kg dibandingkan biomassa lain dan ketersediaannya juga cukup berlimpah terutama di Pulau Sumatera dan Kalimantan. Dalam penelitiannya, Dr. Sunu menggunakan teknologi gasifikasi cangkang sawit untuk menghasilkan gas karbon monoksida dan hidrogen yang nantinya akan melewati proses pemanasan pembuatan *Aspal Hotmix*. Selain didasari karena potensi cangkang sawit yang berlimpah di daerah sentra-sentra industri sawit, tetapi juga adanya keluhan dari *Asphalt Mixing Plant* (AMP). "Selama ini, pihak AMP banyak yang mengeluhkan terkait penyediaan energi yang digunakan untuk beroperasi. Pasalnya, solar (BBM), Gas Alamatau Gasifikasi dari *fossil fuel* untuk pembuatan Aspal panas (*Hotmix*) dibatasi oleh peraturan pemerintah, terutama AMP yang beroperasi dilokasi terpencil, terkendala karena kelangkaan serta harga yang tidak kompetitif. Kami berusaha mengkombinasikan keduanya baik pengusaha Cangkang Sawit maupun AMP," ungkap Sunu.

Secara ekonomi, penggunaan cangkang sawit untuk *Aspal Hotmix* lebih murah dibandingkan bahan bakar fosil. Dari nilai kalori, untuk pembakaran 1 ton *Aspal Hotmix* membutuhkan sekitar 45 kg cangkang sawit, sementara jika menggunakan solar akan membutuhkan sekitar 10 – 15 liter.

Tidak hanya itu, penggunaan cangkang sawit juga dapat menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK), karena biomassa ini bersifat karbon Netral sehingga CO2 *equivalent* dapat ditekan lebih rendah dibandingkan penggunaan *fossil fuel*. Lebih lanjut, Sunu menambahkan, selama ini cangkang sawit hanya diekspor, padahal memiliki kalori tinggi atau nilai pemanfaatan yang banyak tetapi belum dioptimalkan.

Gambar II. 3 Limbah Cangkang Sawit

II.7 Bahan Pengisi (filler)

Filler adalah bahan pengisi yang memiliki peran penting dalam mengisi rongga-rongga dalam campuran material. Pada perkerasan jalan, *filler* digunakan untuk meningkatkan stabilitas dan mengurangi jumlah rongga udara dalam campuran. Bahan pengisi umumnya terdiri dari bahan non-plastis yang lolos saringan No. 200 dengan komposisi sekitar 75%. Contoh bahan pengisi yang dapat digunakan adalah abu batu, debu batu kapur, semen portland, atau bahan non-plastis lainnya. *Filler* harus dalam keadaan kering atau memiliki kadar air maksimum 1%. Pemberian *filler* pada campuran aspal berperan penting untuk mengurangi jumlah pori dalam campuran sehingga rongga yang disebabkan oleh bahan berukuran besar dapat dikurangi, sehingga material dapat terikat satu sama lain.

II.8 Karakteristik Marshall

Pada pengujian kali ini Marshall bertujuan untuk mengetahui karakteristik adonan dalam benda uji. Dalam hal ini untuk mengetahui nilai daya tahan (stabilitas), kelelehan (flow), & marshall Qouintient. Alat marshall adalah indera tekan yg pada lengkapi menggunakan proving ring yg berkapasitas 22,5 KN atau 5000 ibs. Proving ring di lengkapai menggunakan arloji pengukur yg bermanfaat

buat mengukur stabilitas adonan. Disamping itu masih ada arloji kelelehan (flow meter) buat mengukur kelelehan plastis, lantaran prinsip dasar metode marshall merupakan inspeksi stabilatas & kelelehan (flow), dan analisis kepadatan & pori berdasarkan adonan pada yang terbentuk. Rancangan adonan dari metode marshall di temukan sang bruce marshall, & sudah distandarisasi sang ASTM ataupun AASHTO melalui beberapa modifikasi, yaitu ASTM D 1559-76, atau 27 AASHTO T T-245-90. Benda uji marshall standar berbentuk silinder berdiameter 4 inchi (10, 16 cm) & tinggi 2, lima inchi (6,35 cm).

Marshall test adalah sebuah metode pengujian yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas campuran agregat aspal beton dalam proyek desain jalan. Stabilitas Marshall dan Marshall Flow yang disebut dalam tesis (Mardiana, 2021) merupakan output dari pengujian Marshall yang digunakan untuk menentukan beban maksimum yang dapat ditahan oleh campuran aspal beton. Dalam pengujian *marshall*, data stabilitas perkerasan diperoleh sesuai dengan standar yang ditetapkan. Stabilitas mengacu pada kemampuan campuran beraspal dalam menahan beban sampai terjadi deformasi plastis, diukur dalam satuan kilogram atau pound. Deformasi plastis ini mewakili batas maksimum beban yang dapat diterima oleh aspal.

Setelah pengujian benda uji dengan alat *Marshall* selesai, stabilitas dapat ditentukan dari petunjuk jarum yang menunjukkan beban maksimum yang dapat ditahan oleh campuran beraspal. Setelah itu, nilai tersebut akan dikoreksi dengan faktor koreksi volume benda uji yang terkait dengan alat *Marshall* yang digunakan.

II.8.1 Stabilitas

Stabilitas jalan adalah kemampuannya menahan beban lalu lintas tanpa adanya gelombang atau deformasi permanen lainnya. Saat perangkat Marshall digunakan untuk pengujian, Jam Stabilitas digunakan untuk menentukan skor stabilitas benda uji. Nilai yang ditampilkan pada jam harus disesuaikan dengan alat Marshall. Nilai jam stabilisasi harus dikalikan dengan nilai kalibrasi cincin umpan alat Marshall. Nilai stabilitas dapat ditentukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$S = p \times q \quad \text{..... I.1}$$

Keterangan :

S : nilai stabilitas (kg)

p : pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

q : angka koreksi tebal benda uji

II.8.2 Kelelehan (*Flow*)

Nilai flow didapat dari bacaan pada jarum dial. Tidak diperlukan konversi satuan karena nilai flow sudah dinyatakan dalam satuan milimeter (mm). Hasil bagi Marshall (MQ), atau Marshall Quotient (MQ), didapat dari hasil pembagian antara nilai stabilitas dan nilai pelelehan.

$$MQ = \frac{MQ}{MF} \quad \text{.....II.2}$$

II.8.3 Marshall Quotient (MQ)

Nilai MQ mewakili nilai kekerasan aspal. Jika nilai MQ tinggi maka campuran akan keras dan rapuh. Sebaliknya jika nilai MQ rendah maka perkerasan menjadi lentur dan kurang stabil. Nilai Marshall Quotient minimal sebesar 250 kg/mm yang dipersyaratkan sesuai persyaratan Bina Marga 2010. Nilai Marshall Quotient pada campuran aspal ditentukan dengan rumus sbb :

$$MQ = \frac{S}{F} \quad \text{..... I.3}$$

Keterangan :

MQ : nilai *marshall quoetient* (kg/mm)

S : nilai stabilitas (kg)

F : nilai *flow* (mm)

II.8.4 VMA (Void In Mineral Agregat)

VMA adalah angka yang mewakili persentase kesenjangan secara agregat. Indeks ketahanannya adalah VMA dan VIM. Volume efektif aspal (dikurangi jumlah aspal yang terserap oleh agregat) dan rongga udara termasuk dalam istilah "celah antar agregat pada perkerasan" atau VMA. Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai VMA.

$$VMA = \frac{100\ (Gsb - Gmb) + Gm \quad .Pb}{Gsb} \qquad \text{I.4}$$

Keterangan :

VMA : rongga udara pada mineral agregat (%)

Gmb : berat jenis bulk campuran setelah pemadatan (gr/cc)

Gsb : berat jenis bulk dari total agregat (gr/cc)

Pb : presentase kadar aspal terhadap berat total campuran (%)

II.8.5 VIM (Void In Mineral)

Void In Mix (VIM) adalah rongga yang terdapat dalam suatu campuran. Nilai VIM mempengaruhi durabilitas lapisan perkerasan, semakin tinggi nilai yang dihasilkan maka rongga dalam campuran semakin besar, sehingga campuran dapat porus.

$$\square\square\square = 100 \text{ x } \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \qquad \text{I.5}$$

Keterangan :

VIM = Volume rongga dalam campuran

Gmm = Berat jenis maksimum campuran

Gmb = Berat jenis Bulk campuran

II.8.6 Kepadatan

Kepadatan adalah tingkat kerapatan campuran setelah campuran dipadatkan. Nilai kepadatan dapat ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kepadatan} : \frac{wm}{(Wmssd - Wmpw)} \qquad \text{I.6}$$

Keterangan :

Wm : berat benda uji setelah dipadatkan (gr)

Wmssd : berat benda uji setelaah dipadatkan (gr)

Wmpw : berat benda uji dalam air setelah dipadatkan (gr)

II.8.7 VFA (*Void Filled With Asphalt*)

Rongga terisi aspal (VFA) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Nilai VFA dapat ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$VFA = \frac{VMA - VIM}{VMA} \square\ 100 \quad \text{..... I.7}$$

Keterangan :

VFA : presentase rongga udara terisi aspal (%)

VMA : presentase rongga udara pada mineral agregat (%)

VIM : presentase rongga udara pada campuran (%)

II.9 Pengujian Cantabro

Cantabro merupakan pengujian untuk mengetahui durabilitas campuran aspal dengan metode analitik menggunakan mesin *Los Angeles.* Mesin *Los Angeles* bertujuan untuk mengetahui keausan (abrsi) pada benda uji (Permana et al, 2019). Dalam pengujian cantabro ini, dapat mengevaluasi kemampuan benda uji untuk menahan abrasi dengan mesin *Los Angeles* tanpa menggunkanan bola baja sebagai sisipan di dalam mesin. Pengujian ini bertujuan untuk mensimulasikan abrasi lalu lintas yang terjadi di lapangan dan mengakibatkan penurunan nilai aspal. Pada saat pengujian, mesin Los Angeles berputar setidaknya 300 putaran. Batas yang direkomendasikan untuk kehilangan abrasi adalah 20%(Wandrian Jeftanus Tamarron, 2023).

$$\text{Nilai Keausan} = \frac{A - B}{B}\ 100\% \quad \text{..... I.8}$$

Keterangan :

A = Berat benda uji semula

B = Berat benda uji setelah penguji

II.10 Penelitian Terdahulu

1. Lala Riyadi (2020), melakukan penelitian tenang Pengaruh Cangkang Buah Kelapa Sawit Sebagai Subtitusi Agregat Kasar Terhadap Karakteristik Maeshall Campuran Asphalt Conrete-Binder Course (AC-BC). Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran AC-BC dengan kombinasi cangkang kelapa sawit perlu pertimbangan karena sebagian parameter marshall tidak memenuhi spesifikasi umum bina marga 2018 devisi 6.
2. Anas Tahir (2018), melakukan penelitian Karakteristik Campuran Beton Aspal AC-WC Dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Abu Terbang Batu Bara. Hasil penelitiannya yaitu, pemeriksaan dan analisis karakteristik csmpuran aspal beton dengan menggunaakan variasi kadar filler abu terbang batu bara menunjukkan adanya peningkatan kinerja campuran beton aspal.
3. Zainal Safariska (2020), melakukan penelitian tentang Pengaruh Abu Cangkang Kemiri Sebagai Subtitusi Agrgat Halus (Filler) Terhadap Campuran Lapisan AC-WC. Hasil peneitian yaitu, dengan penambahan abu cangkang kemri dapat menninngkatkan nilai stabilitas. Nilai uji karakteristik juga memenuhi persyaratan bina marga (2014).
4. Nurhayati Doda (2022) melakukan penelitian tentang, Pengaruh Abu Cangkang Pala Sebagai Subtitusi Filler Terhadap Campuran Lapisan AC-WC. Hasil penelitian yaitu, semua variasi yang telah diuji telah memenuhi spesifikasi dari setiap pengujian. Pengujian yang dimaksudkan adalah stabilitas, kelehan (*flow*), VIM (*Voil In The Mix*), VMA (*Void Mineral Agregat*), VFA (*Void Filled With Aspalt*), *Marshall Quotient* (MQ).
5. Wandrian Jeftanus Tamarron (2023), melakukan penelitian tentang Studi Pengaruh Penggunaan Cangkang Kemiri Sebagai Subtitusi Agregat Kasar Terhadap Campuran AC-WC. Hasil penelitian yaitu, Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan menggunakan cangkang kemiri pada variasi

50/50 mempunyai pengaruh yang turun dibanding variasi 0/100 terhadap karakteristik *marshall* seperti nilai stabilitas sebesar 802,38 Kg, *Flow* sebesar 2,75 mm, VFB sebesar 74,48%, VMA sebesar 16,37%, VIM sebesar 4,19% dan MQ sebesar 291,74 Kg/mm dan nilai Cantabro 5,620 pada variasi 50/50. Dengan demikian, campuran tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018.

6. Berdasarkan penelitian Putrawirawan, A., Pranoto, Y., Palondongan, M. I., Samarinda, P. N., & Marshall, K. (2018) dengan judul Alternatif Penambahan Batu Laterit sebagai Bahan Substitusi Agregat Kasar Pada Perkerasan asphalt Concrete – Binder Course (Ac-Bc) the Addition Alternative of Laterit As Materials Subtitution course Aregate To Pavement asphalt Concrete – Binder bertujuan untuk Untuk meningkatakan kualitas beton aspal. Metode Penelitian yang digunakan yaitu Marshall Test dengan variasi penambahan kadar batu laterit dengan persentase 0%; 25%; 50%; 75% dan 100%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan batu laterit sebagai bahan substitusi pada agregat kasar akan mempengaruhi karakteristik campuran beton aspal. Dari hasil penelitian didapatkan hasil yang baik adalah pada penambahan batu laterit 25% dengan nilai Stabilitas = 1479 kg, Flow = 3.91 mm, Marshall Quotion = 385.58 kg/mm, VIM = 4.58 % dan VMA = 18.63 %.
7. Berdasarkan penelitian Wiyono, E. (2015) dengan judul Untuk Daur Ulang Campuran Beton Aspal bertujuan untuk memperkenalkan salah satu metode perbaikan perkerasan jalan yang memanfaatkan bahan perkerasan lama didaur ulang, untuk dipakai sebagai bahan perkerasan baru, untuk mendapatkan sifat fisik dan mekanik campuran beton aspal panas sebagai hasil daur ulang dari perkerasan lama dan untuk menentukan kadar aspal optimum pada campuran beton aspal panas hasil daur ulang dari perkerasan lama. Metode yang digunakan yaitu variabel terikat (parameter penelitian) terdiri dari satbilitas dan kelelehan meliputi kepadatan, prosen rongga dalam agregat, prosen rongga dalam campuran, prosen rongga terisi aspal, kelelehan, stabilitas dan marshall quotient. Hasil pengujian ekstraksi

menunjukkan bahwa agregat masih masuk dalam gradasi agregat untuk lapis permukaan (Laston AC-WC) dan didapat prosentase aspal terhadap campuran sebesar 5,84%. Adapun hasil kadar aspal rencana (Pb) berdasarkan perhitungan mix desain formula didapat sebesar 5,83%. Nilai Pb lebih kecil dari Hasil ekstraksi RAP sehingga sebagai acuan digunakan hasil ekstraksi sebesar 5,84%. Dalam penelitian ini tidak menambah agregat tetapi hanya menambahkan aspal dengan empat variasi keatas, yaitu 5,84; 6,09; 6,34; 6,59 dan 6,84% karena tidak mungkin menggunakan variasi kadar aspal ke bawah. Selain itu juga membuat campuran aspal standar sebagai pembanding dengan variasi kadar aspal 5,0; 5,5; 6,0; 6,5 dan 7,0%.

8. Berdasarkan Kasan, M. (2009) dengan judul Karakteristik Stabilitas dan Stabilitas Sisa Campuran Beton Aspal Daur Ulang bertujuan untuk mengetahui karakteristik campuran beton aspal lama yang telah didaur ulang apakah masih memenuhi persyaratan spesifikasi campuran beton aspal ditinjau dari karakteristik stabilitas dan durabilitasnya. Metode yang digunakan yaitu Marshall Test dengan variasi perkiraan kadar aspal optimum (pKAO) pada campuran ini adalah 4,6%, 5,1%, 5,6%, 6,1%, 6,6%, dengan variasi bahan peremaja adalah: 0% , 5%, 10%, 15% dan 20%. Hasil penelitian menunjukkan semakin banyak bahan peremaja yang digunakan dalam campuran aspal daur ulang akan menyebabkan nilai kepadatan campuran menurun yang kemunginan disebabkan oleh hilangnya daya lekat aspal terhadap agregat dan kurang baiknya gaya saling mengunci antar partikel agregat. Kadar Maksimum bahan peremaja yang masih memenuhi spesifikasi nilai Stabilitas Marshall adalah 35,29%. Sedangkan kadar Maksimum bahan peremaja yang masih memenuhi spesifikasi nilai Stabilitas sisa campuran adalah 46,18%.
9. Berdasarkan penelitian Putri, A., & Risdianto, Y. (2019) dengan judul Pemakaian Limbah Aspal Sebagai Subtitusi Agregat Pada Campuran Aspal Porus dengan tujuan untuk menentukan komposisi agregat dengan spesifikasi AAPA (2004). Didapat komposisi campuran agregat tiap-tiap fraksi 45% (10-15mm), 40% (RAP 5-10mm), 11% (0-5 mm), dan filler 4%.

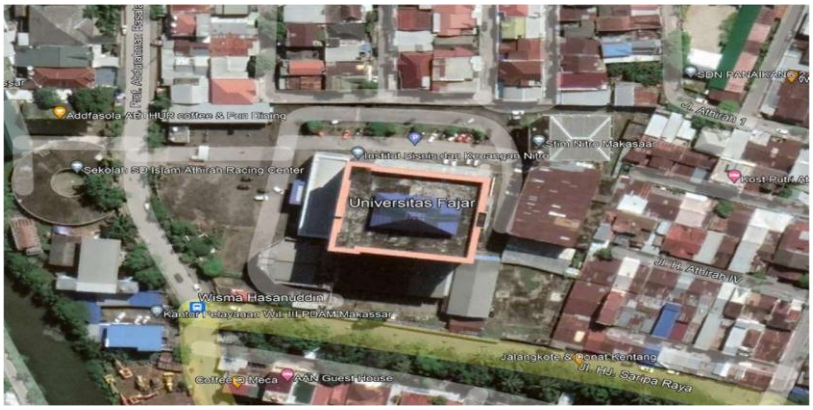
Metode yang digunakan Marshall test,dan Permeabilitas. Hasil penelitian menunjukan dengan penggunaan RAP didapat stabilitas 654.50 kg, flow 3.3 mm, dan permeabilitas 0.15 cm/dt. Hasil pengujian menunjukan bahwa campuran aspal porus dengan RAP memberikan hasil yang baik pada stabilitas, flow, dan permeabilitas, dan hasil tersebut memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan oleh AAPA (2004).

10. Berdasarkan penelitian Imannurrohman N, Sudarno, Amin M. (2021) dengan judul Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Perkerasan Laston Asphalt Concrete – Wearing Coarse (AC-WC) dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh limbah beton sebagai pengganti agregat kasar pada campuran laston (AC-WC) untuk perkerasan jalan raya terhadap nilai karakteristik marshall dan mengetahui nilai komposisi limbah beton sebagai pengganti agregat kasar pada campuran laston (AC-WC) yang akan menghasilkan campuran optimum. Metode yang digunakan yaitu Marshall test dengan kadar variasi limbah beton sebagai pengganti agregat kasar 0%, 10%, 15%, dan 20% dan variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5% sesuai Spesifikasi Bina Marga Revisi 3 (2010). Hasil yang didapat dari pengujian ini dihasilkan pengaruh nilai karakteristik marshall dengan kadar aspal optimum 6% menggunakan limbah beton optimum 15% yang berpengaruh baik terhadap nilai karakteristik marshall seperti nilai stabilitas sebesar 1869,30 kg, Flow sebesar 3,33 mm, VFB sebesar 76,97%, VMA sebesar 16,64 %, VIM sebesar 3,83% dan MQ sebesar 590,97 kg/mm. Dengan demikian campuran tersebut sesuai dengan persyaratan Spesifikasi Teknis Bina Marga 2010, Revisi 3.

BAB III
METODE PENELITIAN

III.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli sampai dengan Agustus 2023 dan dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Fajar Makassar Jalan Prof. Abdurrahman Basalamah (ex Racing Center) No. 101, Karampuang, Panakkukang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan, 90231, Indonesia.



Gambar III. 1 Lookasi Penelitian

III.2 Alat dan Bahan

III.2.1 Alat Yang Digunakan Dalam Peneliltian

a. Alat Pengujian Aspal

Tabel III. 1 Alat Pengujian Aspal

No.	Alat Uji	Fungsi
1	Penetrasi	Mengukur angka penetrasi aspal/lunak
2	Daktilitas	Mengukur daktilitas, semakin tinggi mengindikasikan kadar aspal maka semakin lentur, sehingga semakin baik untuk bisa digunakan sebagai bahan ikat perkerasan.
3	Berat Jenis	Angka yang menunjukkan perbandingan berat air pada volume yang sama dengan suhu ruang. Semakin tinggi nilai berat jenis aspal, makasemakin baik kualitas aspal.
4	Titik Lembek	Menguji titik lembek

5	Titik Nyala	Mengetahui temperatur aspal yang dipanaskan ketika dilewatkan nyala penguji di atas aspal terjadi kilatan lapis lebih dari 5 detik.
6	Titik Bakar	Mengetahui suhu aspal yang dipanaskan saat api melewati lapisan aspal membutuhkan waktu lebih dari 5 detik.

b. Alat Pengujian Agregat

Tabel III. 2 Alat Pengujian Agregat

No.	Alat	Fungsi
1	Saringan	Membagi ukuran gradasi agregat. Ukuran saringan yang dipergunakan sesuai yaitu (#3/4, #1/2, #4, #8, #200, pan)
2	Timbangan	Menimbang agregat dan benda uji
3	Mesin Los Angeles	Digunakan untuk pengujian keausan/abrasi agregat kasar fungsinya adalah kemampuan agregat untuk menahan gesekan
4	Oven	Mengeringkan agregat
5	Bak Perendaman	Digunakan untuk merendam agregat agar jenuh air dan sebagai tempat perendaman benda uji.
6	Alat Uji Berat Jenis	Mengetahui kemampuan penyerapan agregat.

c. Alat Pengujian

Alat pengujian yang akan digunakan adalah Marshall

III.2 Bahan Yang Digunakan Dalam Penelitian

Adapaun beberapa bahan yang digunakan pada saat penelitian antara lain adalah agregat, filler, Cangkang sawit dan aspal minyak

III.3 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini akan dilakukan secara ilmiah dan sistematika sehingga hasil yang akan didapatkan lebih memuaskan dan dapat dipertanggung

jawabkan. Secara umum ada beberapa langkah yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu persiapan komposisi campuran, penyajian material, pemeriksaan material pembuatan benda uji, perawatan serta pengujian benda uji. Pelaksanaan penelitian ini dilakukan sesuai dengan standar uji laboratorium.

Adapun hal yang juga membantu mendapatkan hasil yang baik dalam penelitian yaitu kerja sama. Kerja sama merupakan suatu perbuatan bantu-membantu akan suatu perbuatan yang dilakukan secara bersama-sama untuk mencapai tujuan bersama

III.4 Langkah Kerja

III.4.1 Prosedur Pelaksanaan

1. Tahap 1(persiapan/studi literatur)

   Pada tahap ini merupakan tahap awal dimana penullis melakukan pencarian terkait semua materi dari hasil pengujian sebelumnya yang telah dilakukan oleh peneliti serta data dari buku-buku atau jurnal-jurnal yang dibutuhkan dan akan dijadikan referensi dalam melaksanakan penelitian, mengelolah data dan penyusunan skripsi.

2. Tahap 2 (persiapan alat dan bahan)

   Dalam melaksanakan penelitian alat dan bahan sangat perlu kita persiapan terlebih dahulu. Survei lokasi dan bahan yang akan digunakan, mendatangkan/pengangkutan bahan uji dari lokasi pengambilan bahan ke laboratorium.

3. Tahap 3 (pengujian karakteristik bahan)

   Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk mengetahui karakteristik bahan, apakah bahan tersebut memenuhi spesifikasi atau tidak. Untuk mengetahui layaknya material yang akan digunakan terlebih dahulu kita melakukan pengujian material agregat sebaagai berikut :

a. Pengujian agregat halus

Tabel III. 3 Pengujian Agregat Halus

Pengujian	Metode pengujian	Nilai
Material lolos saringan no. 200	SNI-03-4428-1997	Maks. 8%
Berat jenis	SNI 03-1970-1990	Maks. 0,2
Penyerap air	SNI 03-1970-1990	Maks. 3%
Kadar lumpur	-	Maks 5

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018 Revisi 2

b. Pengujian agregat kasar

Tabel III. 4 Pengujian Agregat Kasar

Pengujian	Metode pengujian	Nilai
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 2417-2008	Maks. 30%
Partikel pipih dan lonjong	ASTM D4791	Maks. 10%
Material lolos saringan no. 200	SNI 03-4142-1996	Maks. 1%
Berat jenis	SNI-03-1969-1990	Maks 3
Penyerapan air	SNI-03-1969-1990	Maks 3%

Sumber:Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga,2018 Revisi 2

4. Tahap 4 (pembuatan benda uji)

Setelah pengujian material dan memenuhi spesifikasi untuk campuran aspal setelah itu kita melakukan pembuatan benda uji dengan langkah-langkah sebagai berikut :

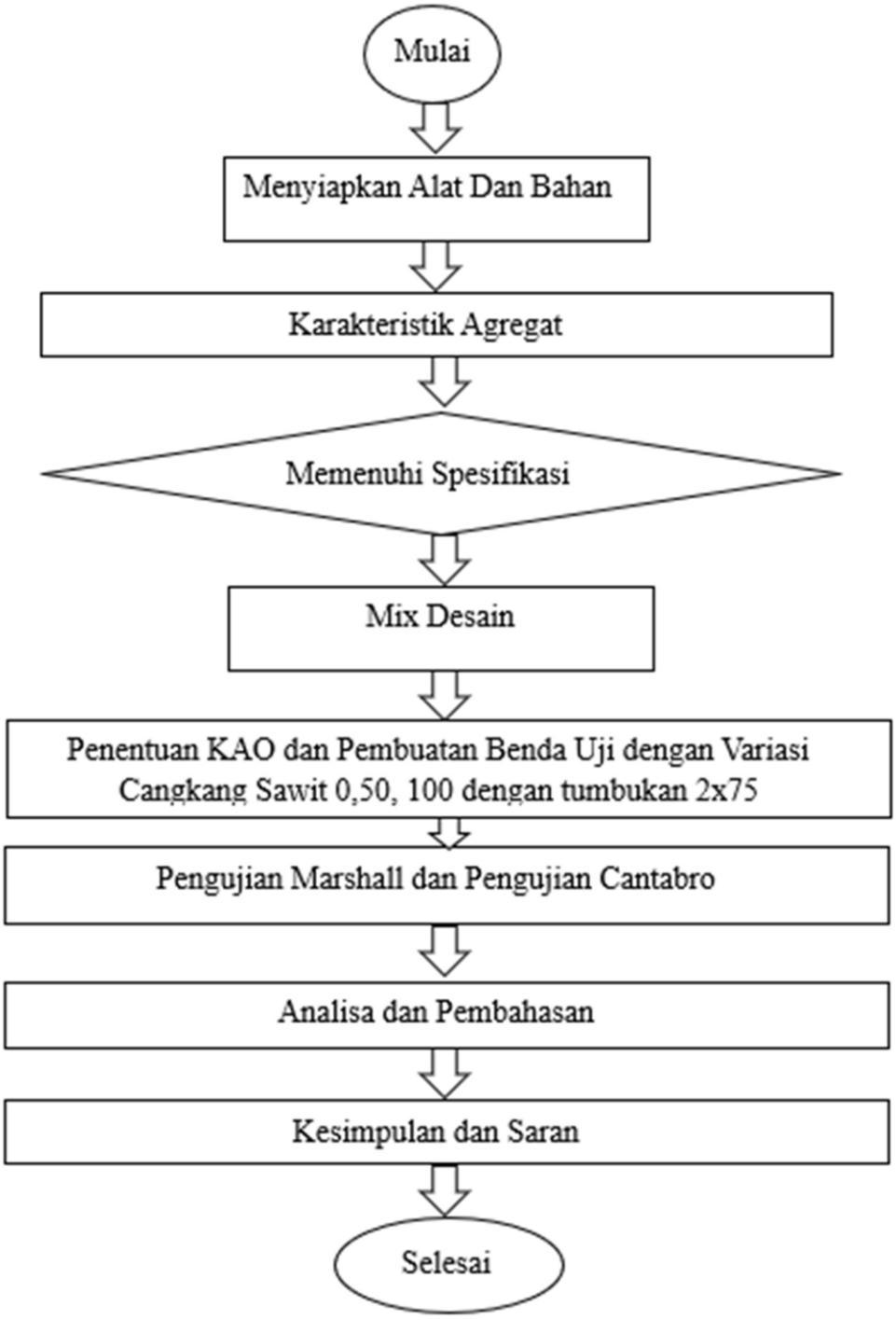
a. Mempersiapkan agregat sesuai dengan komposisi campuran yang telah ditentukan
b. Panaskan panci pencampuran melebihi suhu pencampuran (165°C - 170°C), masukkan campuran agregat benda uji sesuai dengan komposisi yang sudah didapat dan aduk sampai merata

c. Panaskan aspal sampai 140°C diatas suhu campuran (±130°C)
d. Tuangkan aspal pada campuran agregat sebanyak 7,5% dan masing-masing sampel dibuat tiga buah benda uji
e. Setelah dituang, aspal diaduk dengan cepat sambil diamati suhunya hingga 140°C- 150°C dan agregat telah terlapisi merata oleh aspal
f. Bersihkan cetakan dan lumuri dengan oli
g. Letakkan selembar kertas pengisap pada dasar cetakan
h. Masukkan campuran panas tersebut dan tusuk-tusuk dengan spatula agar merata dan ratakan juga permukaan campuran
i. Campuran dalam cetakan ditumbuk sebanyak 75 kali dengan tinggi jatuh 45 cm untuk sisi dan dilakukan sama untuk sisi bawah dengan membalik benda uji (pemadatan harus tegak lurus pada alat cetak)
j. Setelah benda uji dingin, keluarkan benda uji dengan bantuan dongkrak
k. Setiap benda uji diberi tanda

Tabel III. 5 Jumlah Benda Uji

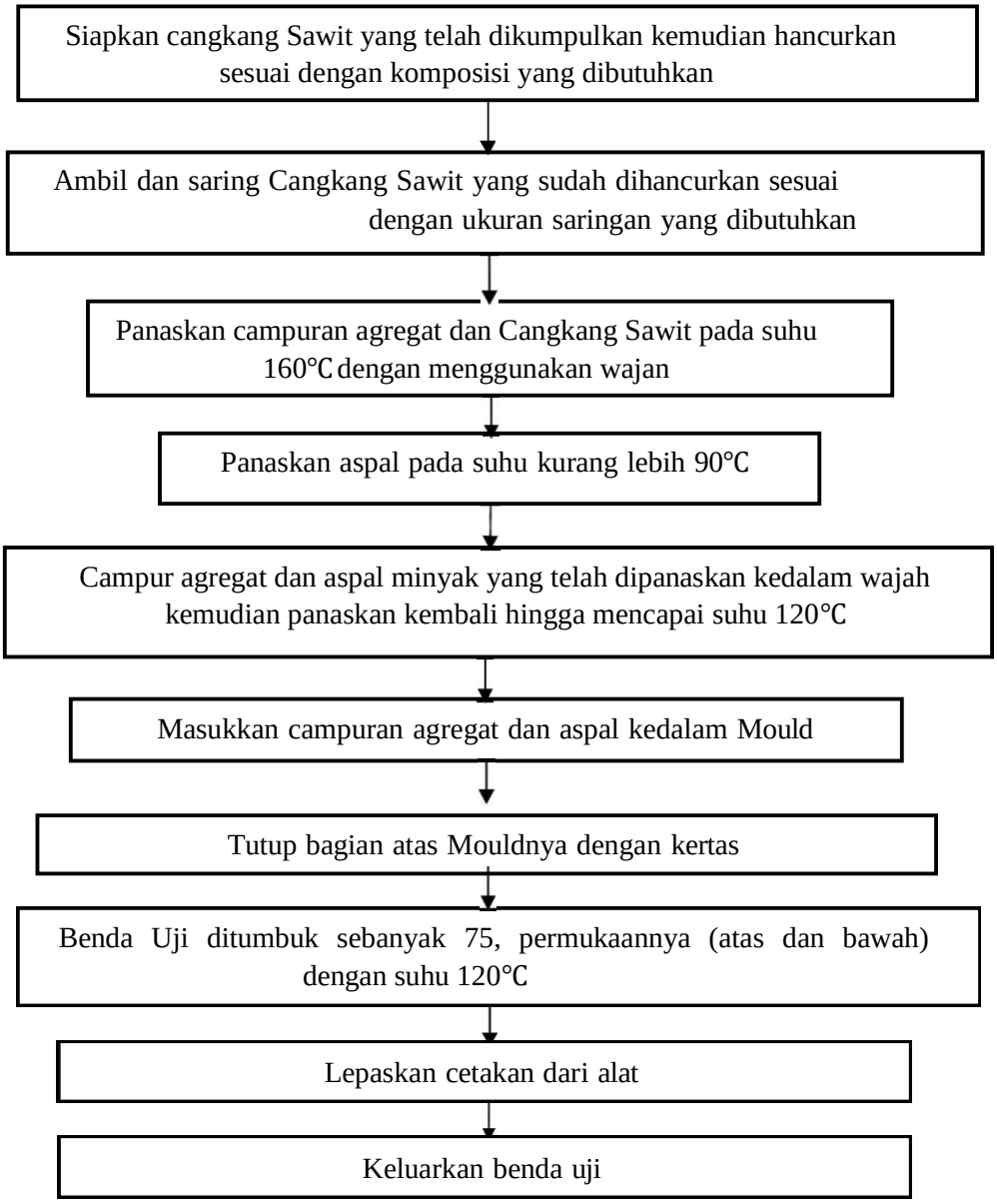
No	Kadar Cangkang sawit sebagai Subtitusi agregat kasar	Pengujian Marshal	Pengujian Cantabro
		2 x 75	
1.	0%	3	3
2.	50%	3	3
3.	100%	3	3
Jumlah		9	9
Total		18	

III.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar III. 2 Diagram Alir Penelitian

III.9 Pembuatan Benda Uji



Gambar III.3 Pembuatan Benda Uji

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Hasil Uji Karakteristik Material

Untuk mengetahui hasil dari pengujian sifat agregat yang ada dalam penelitian ini, memenuhi mutu SNI penggujian agregat. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Fajar.

IV.1.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat

A. Sifat Fisik Agregat Kasar

Berdasarkan hasil pengujian agregat kasar yang dilakukan sesuai metode pengujian dari Standar Nasional Indonesia (SNI). Dari hasil pengujian dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel IV. 1 Sifat Fisik Dari Agregat Kasar

No	Pengujian	Nilai Interval	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Penyerapan air (%)	Maks.3	1,63	Memenuhi
2	Berat Jenis Spesifikasi (%)			
	1. Berat Jenis Bulk	Maks.3	2,75	Memenuhi
	2. Berat Jenis SSD	Maks.3	2,8	Memenuhi
	3. Berta Jenis Semu	Maks.3	2,88	Memenuhi
3	Keausan (%)	Maks. 40	30,28	Memenuhi
4	Indeks Kepipihan	Maks. 30	24,8	Memenuhi
5	Kadar Lumpur (%)	Maks. 1	0,84	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Dari Tabel IV.1 yang tertera diatas menjelaskan bahwa hasil dari pengujian agregat kasar berupa batu pecah (chipping) memenuhi spesifikasi Umum Direktorat Jendral Bina Marga sehingga daat digunakan pada pengujian campuran aspal beton AC-WC

B. Sifat Fisik Agregat Halus

Hasil pengujian dari sifat fisik agregat halus dilakukan sesuai dengan metode pengujian Standar Nasional Indonesia (SNI). Dari hasil pengujian dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel IV. 2 Sifat-Sifat Fisik Agregat Halus

No	Pengujian	Nilai Interval	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Penyerapan air (%)	Maks.3	1.22	Memenuhi
2	Berat Jenis Spesifikasi (%)	Maks.3	2.58	Memenuhi
	1. Berat Jenis Bulk	Maks.3	2.61	Memenuhi
	2. Berat Jenis SSD	Maks.3	2.67	Memenuhi
	3. Berta Jenis Semu			
3	Kadar Lumpur (%)	Maks. 5	1.5	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Dari Tabel IV.2 yang tertera diatas menjelaskan bahwa hasil dari pengujian agregat halus berupa pasir memenuhi spesifikasi Umum Direktorat Jendral Bina Marga sehingga daat digunakan pada pengujian campuran aspal beton AC-WC

C. Sifat Fisik Cangkang Sawit

Hasil pengujian dari sifat fisik dilakukan Cangkang Sawit sesuai dengan metode pengujian dari Standar Nasional Indonesia (SNI). Agregat yang digunakan pada penelitian ini adalah Cangkang Sawit dari hasil

pengujian di Laboratorium Universitas Fajar Makassar. Dengan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel IV.3.

Tabel IV. 3 Sifat -Sifat Fisik Cangkang Sawit

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

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Dari hasil pengujian sifat fisik Cangkang Sawit yang dilakukan dengan metode pengujian dari Standar Nasional Indonesia (SNI), disimpulkan bahwa dapat digunakan sebagai subtitusi agregat kasar karena memenuhi nilai setiap variabel pengujian.

IV2 Pengujian Kadar Aspal Optimum

Pengujian kadar aspal optimum dilakukan dengan tujuan untuk memberikan hasil kadar aspal optimum yang paling baik untuk digunakan dan memenuhi spesifikasi dari keseluruhan nilai karakteristik yang ada. Dan merupakan kadar aspal yang memberikan stabilitas tertinggi pada lapisan perkerasan.

Nilai variasi kadar aspal optimum yang digunakan adalah 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7%. Adapun untuk perencanaan komposisi dari masing-masing variasi kadar aspal optimum dapat dilihat pada tabel yang ada di bawah ini:

Tabel IV. 4 Kadar Aspal 4,5%

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19.00	173.79	0.00	172.88
1/2"	12.70	204.10	0.00	203.03
3/8"	9.80	111.74	0.00	111.15
4	4.75	196.65	0.00	195.62
8	2.35	58,62	0.00	58.32
16	1.18	0.00	77.01	76.61
30	0.60	0.00	64.58	64.24
50	0.30	0.00	67.79	67.43
100	0.15	0.00	56.96	56.66
200	0.075	0.00	73.00	72.62
PAN	0.00	0.00	61.77	61.45
Berat Total Agregat				1140.00
Berat Aspal (5%)				60.00
Total				1200.00

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Tabel IV. 5 Kadar Aspal 5%

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19.00	172.88	0.00	172.88
1/2"	12.70	203.03	0.00	203.03
3/8"	9.80	111.15	0.00	111.15
4	4.75	195.62	0.00	195.62
8	2.35	58.32	0.00	58.32
16	1.18	0.00	76.61	76.61
30	0.60	0.00	64.24	64.24
50	0.30	0.00	67.43	67.43

100	0.15	0.00	56.66	56.66
200	0.075	0.00	72.62	72.62
PAN	0.00	0.00	61.45	61.45
Berat Total Agregat				1140.00
Berat Aspal (5%)				60.00
Total				1200.00

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Tabel IV. 6 Kadar Aspal 5,5%

Saringan No.	Bukaan (mm)	Chipping (gr)	Pasir (gr)	Total (gr)
3/4"	19.00	171.97	0.00	171.97
1/2"	12.70	201.97	0.00	201.97
3/8"	9.80	110.57	0.00	110.57
4	4.75	194.59	0.00	194.59
8	2.35	58.01	0.00	58.01
16	1.18	0.00	76.20	76.20
30	0.60	0.00	63.90	63.90
50	0.30	0.00	67.08	67.08
100	0.15	0.00	56.36	56.36
200	0.075	0.00	72.24	72.24
PAN	0.00	0.00	61.12	61.12
Berat Total Agregat				1134.00
Berat Aspal (5.5%)				66.00
Total				1200.00

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Tabel IV. 7 Kadar Aspal 6%

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19.00	171.06	0.00	171.06
1/2"	12.70	200.90	0.00	200.90
3/8"	9.80	109.98	0.00	109.98
4	4.75	193.56	0.00	193.56
8	2.35	57.70	0.00	57.70
16	1.18	0.00	75.80	75.80
30	0.60	0.00	63.56	63.56
50	0.30	0.00	66.72	66.72
100	0.15	0.00	56.06	56.06
200	0.075	0.00	71.85	71.85
PAN	0.00	0.00	60.80	60.80
Berat Total Agregat				1128.00
Berat Aspal (6%)				72.00
Total				1200.00

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Tabel IV. 8 Kadar Aspal 6,5%

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19.00	170.15	0.00	170.15
1/2"	12.70	199.83	0.00	199.83
3/8"	9.80	109.40	0.00	109.40
4	4.75	192.54	0.00	192.54
8	2.35	57.40	0.00	57.40
16	1.18	0.00	75.40	75.40
30	0.60	0.00	63.22	63.22

50	0.30	0.00	66.37	66.37
100	0.15	0.00	55.76	55.76
200	0.075	0.00	71.47	71.47
PAN	0.00	0.00	60.48	60.48
Berat Total Agregat				1122.00
Berat Aspal (6.5%)				78.00
Total				1200.00

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Tabel IV. 9 Kadar Aspal 7%

Saringan No.	Bukaan (mm)	Chipping (gr)	Pasir (gr)	Total (gr)
3/4"	19.00	169.24	0.00	169.24
1/2"	12.70	198.76	0.00	198.76
3/8"	9.80	108.81	0.00	108.81
4	4.75	191.51	0.00	191.51
8	2.35	57.09	0.00	57.09
16	1.18	0.00	75.00	75.00
30	0.60	0.00	62.89	62.89
50	0.30	0.00	66.01	66.01
100	0.15	0.00	55.47	55.47
200	0.075	0.00	71.09	71.09
PAN	0.00	0.00	60.15	60.15
Berat Total Agregat				1116.00
Berat Aspal (7%)				84.00
Total				1200.00

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

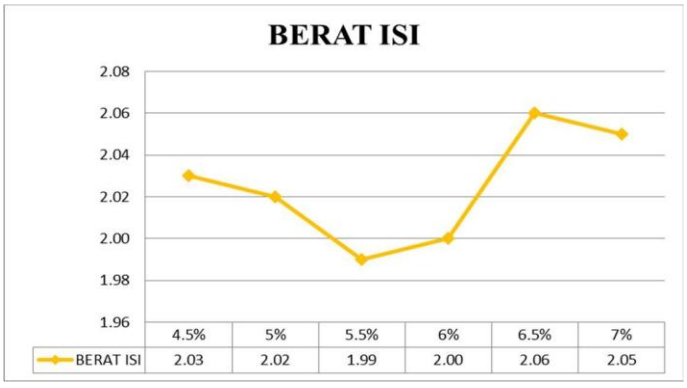
Dari beberapa komposisi variasi kadar aspal optimum yang telah dibuat dan diuji di laboratorium, maka didapatkan data-data seperti yang tertera pada tabel dibawah ini:

Tabel IV. 10 Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum

KADAR ASPAL	VIM (3%-5%)	VMA (Min. 14%)	VFB (Min. 65%)	STABILITAS (Kg) (Min. 800 Kg)	FLOW (mm) (2-4 mm)	KOEFISIEN MARSHALL (Kg/mm) (Min. 250 Kg/mm)
4,5%	8.45	15.86	51.39	706	3.21	252.74
5%	8.00	17.46	54.35	996.96	3.65	273.43
5.5%	8.51	18.80	55.32	776.74	2.85	272.49
6%	7.79	19.04	59.16	744.00	2.73	273.05
6.5%	4.47	17.03	73.81	824.35	3.03	272.61
7%	4.33	17.81	75.74	1110.05	3.85	288.24

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

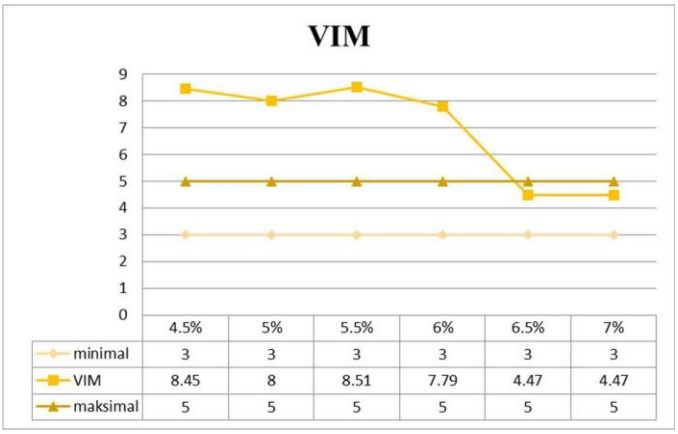
Dari tabel hasil pengujian kadar aspal optimum (KAO) diatas, didapatkan nilai rata-rata dari variasi kadar aspal, baik nilai rata-rata berat isi maupun nilai rata- rata dari beberapa parameter *marshall*, yaitu VIM, VMA, VFB, stabilitas, flow, dan MQ. Adapun untuk hubungan antara kadar aspal dan berat isi serta hubungan antara kadar aspal dengan parameter *marshall*, bisa dilihat pada grafik yang ada dibawah ini.



Gambar IV. 1 Kurva Hubungan Kadar Aspal dengan Berat Isi

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Dari Gambar IV.1, Dapat dilihat hubungan antara kadar aspal dan berat isi. Campuran aspal dengan berat isi yang lebih tinggi cenderung lebih padat dan kuat. Maka hubungan antara kadar aspal dan berat isi menghasilkan, kadar aspal yang tepat untuk memastikan kohesi dan stabilitas campuran, tetapi terlalu banyak atau terlalu sedikit aspal dapat mengganggu kualitas campuran.

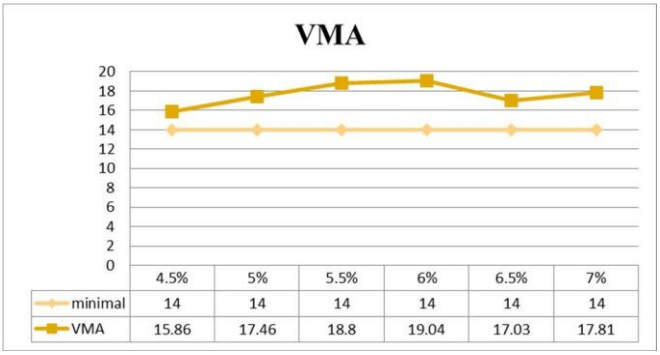


	4.5%	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
minimal	3	3	3	3	3	3
VIM	8.45	8	8.51	7.79	4.47	4.47
maksimal	5	5	5	5	5	5

Gambar IV. 2 Kurva Hubungan Kadar Aspal dengan VIM

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Dari Gambar IV.2, dapat dilihat hubungan antara kadar aspal dengan VIM. Hubungan yang dihasilkan antara kadar aspal yang memenuhi spesifikasi umum Bina Marga untuk nilai VIM yang disyaratkan yaitu minimal 3% dan maksimal 5%. Kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6% tidak memenuhi spesifikasi dan kadar aspal 6,5%, dan 7% telah memenuhi spesifikasi yang digunakan.

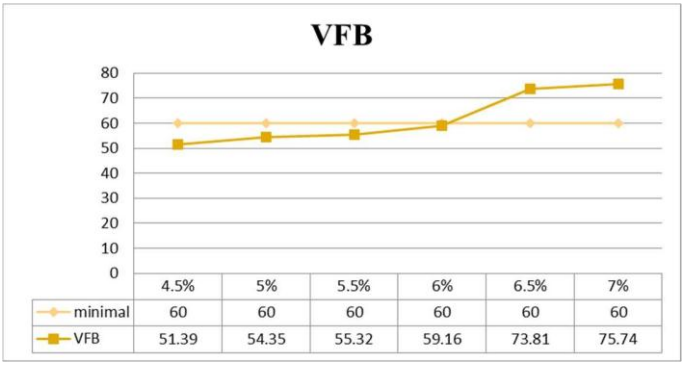


	4.5%	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
minimal	14	14	14	14	14	14
VMA	15.86	17.46	18.8	19.04	17.03	17.81

Gambar IV. 3 Kurva Hubungan Kadar Aspal dengan VMA

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Dari Gambar IV.3, dapat dilihat hubungan antara kadar aspal dengan VMA. Hubungan yang dihasilkan antara kadar aspal dengan VMA dari beberapa variasi kadar aspal, yang memenuhi spesifikasi umum Bina Marga untuk nilai VMA yang disyaratkan yaitu minimal 14% dari variasi kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7%, semuanya memenuhi spesifikasi yang digunakan.

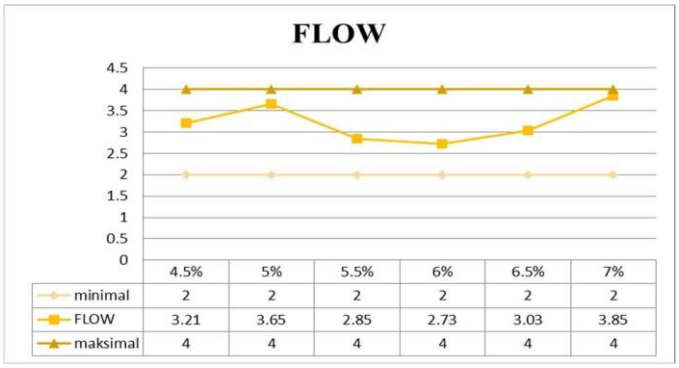


	4.5%	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
minimal	60	60	60	60	60	60
VFB	51.39	54.35	55.32	59.16	73.81	75.74

Gambar IV. 4 Kurva Hubungan Kadar Aspal dengan VFB

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Dari Gambar IV.4, dapat dilihat hubungan kadar aspal dan VFB. Hubungan yang dihasilkan antara kadar aspal dengan VMA yang memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga untuk nilai VFB yang disyaratkan yaitu minimal 65% diantara beberapa variasi kadar aspal hanya 6,5% dan 7% yang memenuhi dari spesifikasi yang digunakan.

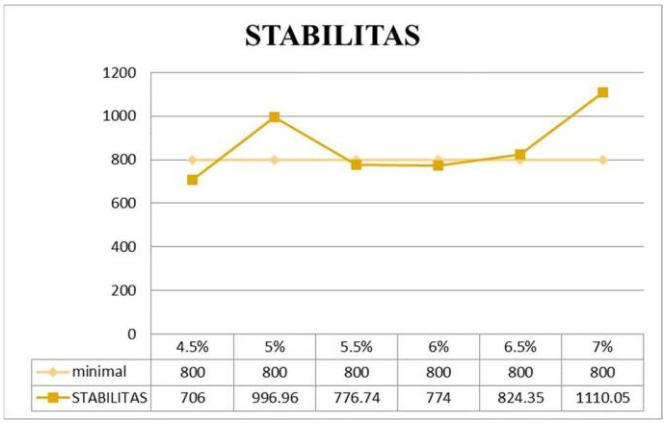


	4.5%	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
minimal	2	2	2	2	2	2
FLOW	3.21	3.65	2.85	2.73	3.03	3.85
maksimal	4	4	4	4	4	4

Gambar IV. 5 Kurva Hubungan Kadar Aspal dengan Flow

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

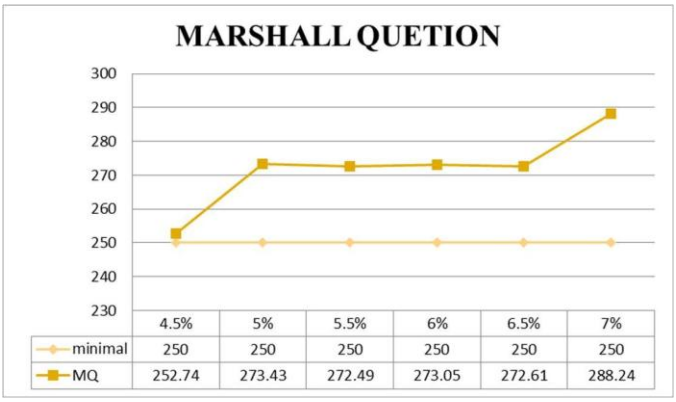
Dari Gambar IV.5, dapat dilihat hubungan kadar aspal dengan Flow. Hubungan yang dihasilkan antara kadar aspal dengan semua variasi kadar aspal yang digunakan memenuhi syarat untuk nilai flow sesuai spesifikasi umum Bina Marga.



Gambar IV. 6 Kurva Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Dari Gambar IV.6, dapat dilihat hubungan kadar aspal dengan stabilitas. Hubungan yang dihasilkan antara kadar aspal dengan stabilitas yang memenuhi spesifikasi umun Bina Marga untuk nilai Stabilitas yang disyaratkan yaitu minimal 800 kg, hanya kadar aspal 5%, 6.5% dan 7% yang memenuhi spesifikasi. Pada kadar aspal 4,5%, 5.5% dan 6% tidak memenuhi spesifikasi yang digunakan.



Gambar IV. 7 Kurva Hubungan Kadar Aspal dengan Marshall quotient

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Dari Gambar IV.7, dapat dilihat hubungan kadar aspal dengan MQ. Nilai yang diisyaratkan spesifikasi Umum Bina Marga untuk nilai Marshall Quotient (MQ) yaitu minimal 250 kg, semua kadar aspal memenuhi.

Dari beberapa gambar kurva hubungan antara parameter marshall dengan kadar aspal untuk penentuan kadar aspal optimum diatas, maka diperoleh hasil seperti dibawah ini:

Tabel IV. 11 Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum

KARAKTERISTIK	PRESENTASE SESUAI SPESIFIKASI						SPESIFIKASI
VIM							3%-5%
VMA							MIN 14%
VFB							MIN 65%
STABILITAS							MIN 800 kg
FLOW							2-4 mm
MQ							MIN 250 kg/mm
	4,5	5	5,5	6	6,5	7	

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Dari Tabel IV.10 dapat kita lihat bahwa hasil pengujian kadar aspal optimum dari parameter marshall ternyata ada beberapa karakteristik yang tidak memenuhi spesifikasi yang digunakan, seperti pada karakteristik nilai VIM hanya pada kadar aspal 6,5%, dan 7% yang memenuhi, sedangkan pada kadar aspal 5%, 5,5% dan 6% tidak memenuhi spesifikasi. Pada karakteristik VMA semua kadar aspal yang digunakan memenuhi spesifikasi. Pada karakteristik VFB hanya kadar aspal kadar aspal 6,5% dan 7% yang memenuhi spesifikasi. Untuk karakteristik Flow, semua kadar aspal memenuhi spesifikasi. Pada karakteristik Stabilitas, kadar aspal 5%,

6,5% dan 7% memenuhi spesifikasi, kadar aspal 5,5% dan 6% tidak memenuhi spesifikasi. Sedangkan untuk karakteristik MQ, semua kadar aspal memenuhi nilai persyaratan sesuai spesifikasi.

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

$$\textbf{Kadar Aspal Optimum} = \frac{6{,}5+7}{2} = 6{,}75$$

Seperti hasil perhitungan nilai tengah diatas, maka nilai kadar aspal optimum yang digunakan pada penelitian ini yaitu 6,75 %.

Ⅳ3 Gradasi Gabungan Agregat

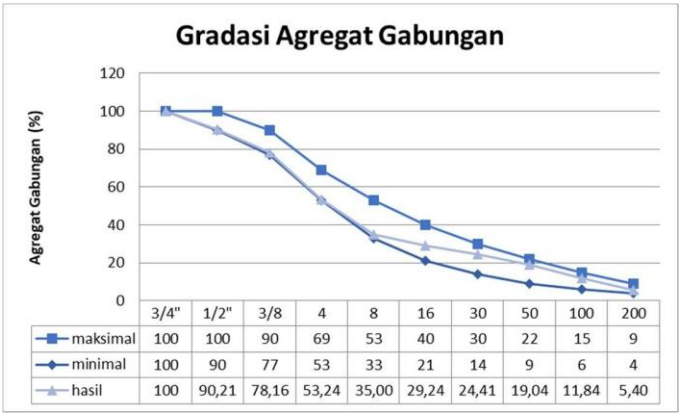
Penentuan gradasi campuran dan mix design dalam penelitian ini mengacu pada standar spesifikasi umum Bina Marga. Adapun perbandingan persentase dari masing-masing agregat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu antara agregat kasar: agregat halus: filler ialah 65%: 30%: 5% lalu dikalikan dengan nilai persen lolos agregat dari pengujian Analisa saringan agregat yang telah dilakukan sebelumnya. Sesudah itu hasil dari perkalian tadi dijumlahkan dan menghasilkan komposisi campuran atau *mix design.*

Penentuan komposisi agregat, digunakan by sieve (dilakukan penimbangan berdasarkan ukuran saringan). Metode penentuan proporsi agregat ini tidak dikelompokkan menurut fraksi agregat (agregat kasar, agregat halus dan filler) seperti pada metode by portion, melainkan ditentukan melalui penimbangan berdasarkan komposisi untuk masing-masing ukuran saringan yang digunakan dalam penelitian ini. Penentuan komposisi agregat dengan metode gradasi by sieve, dapat dilihat dibawah:

Tabel IV. 12 Gradasi Gabungan Agregat

NOMOR SARINGAN		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	84.93	66.40	28.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	% BATCH	65	55.21	43.16	18.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PASIR	% PASS	100	100	100	100	100	80.80	64.70	47.80	33.60	15.40
30	% BATCH	30	30	30	30	30	24.24	19.41	14.34	10.08	4.62
DEBU BATU	% PASS	100	100	100	100	100	100	100	93.90	35.20	15.60
5	% BATCH	5	5	5	5	5	5	5	4.695	1.76	0.78
AGREGAT GABUNGAN		100	90.21	78.16	53.24	35	29.24	24.41	19.04	11.84	5.40
SPESIFIKASI		100	90-100	77-90	53-69	33-53	21-40	14-30	9-22	6-15	4-9

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil 2024



Gambar IV. 8 Kurva Gradasi Gabungan Agregat

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil 2024

Setelah dilakukan pengayakan untuk penentuan komposisi antara agregat kasar, agregat halus dan filler berdasarkan komposisi untuk masing-masing ukuran saringan yang digunakan sesuai dengan spesifikasi umum Bina Marga, maka diperoleh nilai hasil pengujian seperti yang terlihat pada Tabel IV.11 dan Gambar IV.8 diperoleh nilai persentase antara agregat kasar

agregat, halus, filler, yaitu 65%: 30%: 5%. Untuk komposisi agregat, baik agregat kasar, agregat halus maupun filler yang digunakan yaitu agregat yang tertahan dimasing-masing saringan kemudian dipisah-pisahkan sesuai dengan ukuran saringan dari spesifikasi yang digunakan. Grafik di atas menjelaskan hasil gradasi agregat gabungan memenuhi atau tidak terhadap spesifikasi binar marga 2018.

IV.4 Pembuatan Benda Uji Menggunakan Subtitusi Cangkang Sawit 0/100, 50/50, dan 100/0

Campuran aspal panas dengan menggunakan Kadar Aspal Optimum 6,75% aspal dengan penetrasi 60/70, perhitungannya dapat dilihat pada lampiran. Selanjutnya untuk campuran didapat berat aspal dan agregat terhadap kadar aspal optimum sebagai berikut:

IV.4.1 Proporsi Perbandingan Agregat Alam dengan Cangkang Sawit

Setelah diperoleh nilai Kadar Aspal Optimum maka langkah selanjutnya dilakukan komposisi proporsi perbandingan kadar agregat kasar dan Cangkang Sawit. Berikut ini merupakan tabel nilai perbandingan agregat kasar dan agregat Cangkang Sawit untuk campuran spesifikasi umum Bina Marga sebagai berikut:

Tabel IV. 13 Proporsi Campuran Agregat Alam dengan Cangkang Sawit 0/100

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Abu Batu	Cangkang Sawit	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	109,61	0,00	0,00	0,00	109,61
3/8"	9,80	134,78	0,00	0,00	0,00	134,78
4	4,75	278,79	0,00	0,00	0,00	278,79
8	2,35	204,17	0,00	0,00	0,00	204,17
16	1,18	0,00	64,45	0,00	0,00	64,45
30	0,60	0,00	54,05	0,00	0,00	54,05

50	0,30	0,00	56,73	3,41	0,00	60,15
100	0,15	0,00	47,67	32,84	0,00	80,51
200	0,075	0,00	61,10	10,97	0,00	72,06
PAN	0,00	0,00	51,70	8,73	0,00	60,43
Berat Total Agregat						1119,00
Berat Aspal (6.75%)						81,00
Total						1200,00

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil Unifa, 2024

Tabel IV. 14 Proporsi Campuran Agregat Alam dengan Cangkang Sawit 50/50

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Abu Batu	Cangkang Sawit	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	54,81	0,00	0,00	54,81	109,61
3/8"	9,80	63,69	0,00	0,00	67,39	134,78
4	4,75	139,40	0,00	0,00	139,40	278,79
8	2,35	102,08	0,00	0,00	102,08	204,17
16	1,18	0,00	64,45	0,00	0,00	64,45
30	0,60	0,00	54,05	0,00	0,00	54,05
50	0,30	0,00	56,73	3,41	0,00	60,14
100	0,15	0,00	47,67	32,84	0,00	80,51
200	0,075	0,00	61,10	10,97	0,00	72,07
PAN	0,00	0,00	51,70	8,73	0,00	60,43
Berat Total Agregat						1119,00
Berat Aspal (6.75%)						81,00
Total						1200,00

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil Unifa, 2024

Tabel IV. 15 Proporsi Campuran Agregat Alam dengan Cangkang Sawit 100/0

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Abu Batu	Cangkang Sawit	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	0,00	0,00	0,00	109,61	109,61
3/8"	9,80	0,00	0,00	0,00	134,78	134,78
4	4,75	0,00	0,00	0,00	278,79	278,79
8	2,35	0,00	0,00	0,00	204,17	204,17
16	1,18	0,00	64,45	0,00	0,00	64,45
30	0,60	0,00	54,05	0,00	0,00	54,05
50	0,30	0,00	56,73	3,41	0,00	60,15
100	0,15	0,00	47,67	32,84	0,00	80,51
200	0,075	0,00	61,10	10,97	0,00	72,06
PAN	0,00	0,00	51,70	8,73	0,00	60,43
Berat Total Agregat						1119,00
Berat Aspal (6.75%)						81,00
Total						1200,00

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil Unifa, 2024

Nilai kadar aspal optimum yang digunakan pada penelitian ini yaitu 6,75% Cara untuk mendapatkan kadar aspal pada setiap variasi dengan mengkalikan jumlah total campuran yaitu 1.200 dengan nilai kadar aspal lalu di bagi 100.

IV.5 Pengujian Campuran Aspal

IV.5.1 Marshall Test

Pada pengujian ini merupakan hasil dari nilai VIM, VMA VFB, stabilitas, flow dan marshal quotient terhadap campuran aspal benda uji.

Adapun variasi cangkang Sawit yang digunakan yaitu 0/100, 50/50 dan 100/0. Hasilnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel IV. 16 Pengujian Marshall

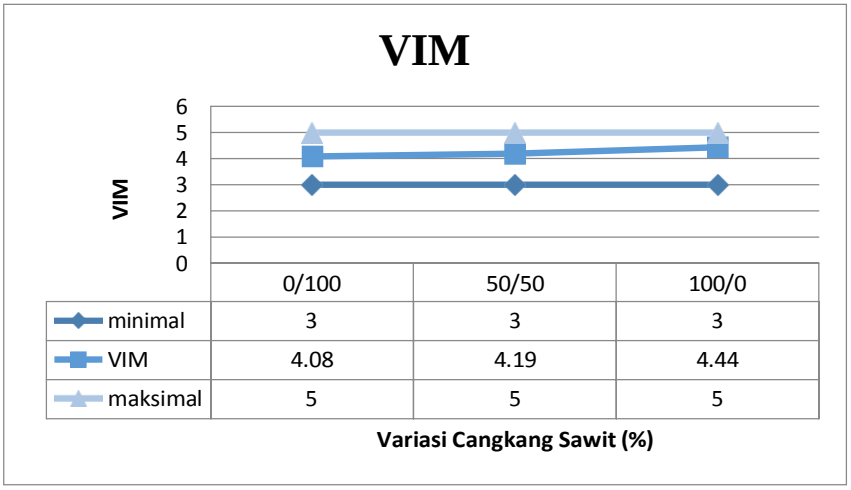
Varasi Cangkang Sawit	No. Sampel	Nilai Hasil Pengujian Marshall					
		VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
0%	1	3,45	15,81	77,58	965,96	2,68	360,43
	2	4,89	16,98	71,22	928,26	3,08	301,38
	3	3,8	16,03	76,3	951,82	2,17	438,63
Rata-rata		**4,08**	**16,27**	**75,03**	**948,68**	**3,10**	**306,01**
50%	1	3,6	15,85	77,31	918,84	2,80	328,16
	2	4,09	16,29	74,88	1036,64	2,73	379,72
	3	4,88	16,97	71,26	871,72	3,00	290,57
Rata-rata		**4,19**	**16,37**	**74,48**	**802,38**	**2,75**	**291,74**
100%	1	3,62	15,88	77,18	918,84	2,90	316,84
	2	7,84	19,55	59,93	838,74	3,01	278,65
	3	2,91	15,26	80,9	1039,74	4,01	259,29
Rata-rata		**4,44**	**18,53**	**66,37**	**802,11**	**2,55**	**287,07**

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil Unifa, 2024

Berdasarkan hasil pengujian pada setiap variabel marshal, maka variasi 0%, 50%, 100% memenuhi spesifikasi bina marga 2018. Karena nilai rata-rata yang di hasilkan dari pengujian lab memenuhi standar yang di syaratkan.

IV.5.1.1 VIM (*Void In The Mix)*

Void In The Mix adalah rongga yang ada pada total campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat berongga.

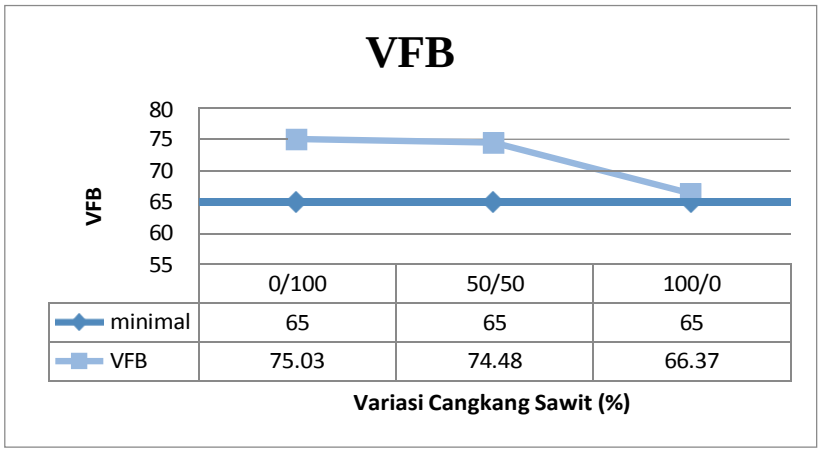


Gambar IV. 9 Variasi Cangkang Sawit Terhadap Nilai VIM
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil 2024

Pada Gambar IV.9 dapat dilihat bahwa nilai VIM pada penggunaan Cangkang Sawit dengan variasi 0/100, 50/50, 100/0, memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2018. Karena dari grafik pada gambar tidak kurang dari minimal dan tidak melebihi batas maksimal.

IV.5.1.2 VFB (*Void Filler In Bitumen)*

Void Filler In Bitumen adalah presentase pori antara butir agregat yang terisi aspal, sehingga VFB merupakan bagian dari VMA yang terisi oleh aspal dan termasuk didalamnya aspal yang terabsorbsi oleh masing-masing butir agregat

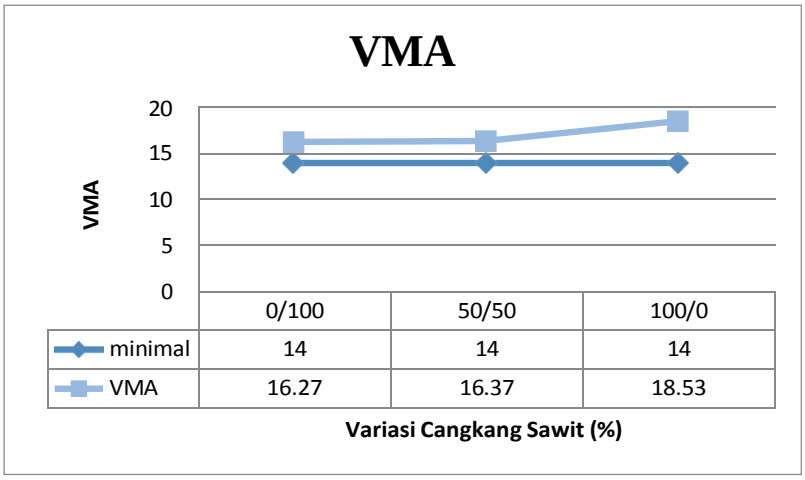


Gambar IV. 10 Variasi Cangkang Sawit Terhadap Nilai VFB
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil 2024

Dapat dilihat pada Gambar IV.10 diatas menjelaskan bahwa nilai yang didapatkan pada setiap variasi Memenuhi spesifikasi bina marga. Karena nilai VFB tidak melewati batas minimal ketentuan.

IV.5.1.3 VMA (*Void In Mineral Agregat*)

Void In Mineral Agregate adalah rongga udara butir agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif, yang dinyatakan dalam persen terhadap volume, kuantitas terhadap rongga udara berpengaruh terhadap kinerja suatu campuran karena jika VMA terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas dan jika VMA terlalu besar maka campuran bisa memperlihatkan masalah dan tidak ekonomis untuk di produksi.

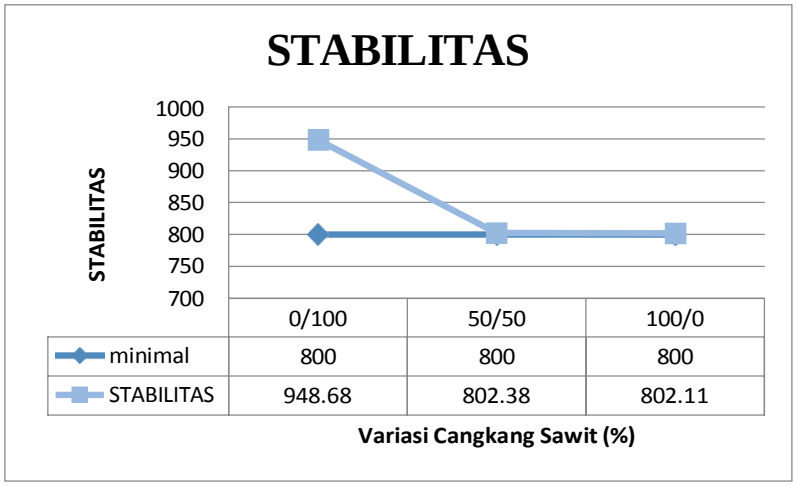


Gambar IV. 11 Variasi Cangkang Sawit Terhadap Nilai VMA
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil 2024

Berdasarkan syarat Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 yang diisyaratkan yaitu minimal 14%. Dari hasil yang diperoleh nilai pada setiap variasi penggunaan Cangkang Sawit memenuhi spesifikasi. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai VMA mengalami kenaikan dikarenakan faktor dari persen antara kadar aspal dan penambahan variasi Cangkang Sawit serta perubahan suhu pada saat pembuatan briket.

IV.5.1.4 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas adalah beban yang dapat ditahan pada campuran aspal sampai terjadi kelelehan plastis atau dengan arti lain yaitu, kemampuan lapis keras untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja diatasnya tanpa mengalami perubahan bentuk tetap seperti gelombang (washboarding) dan alur (rating). Berdasarkan aturan yang ada pada Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 yang mengisyaratkan nilai minimal pada stabilitas adalah 800 kg. Pada penelitian ini hasil yang didapatkan



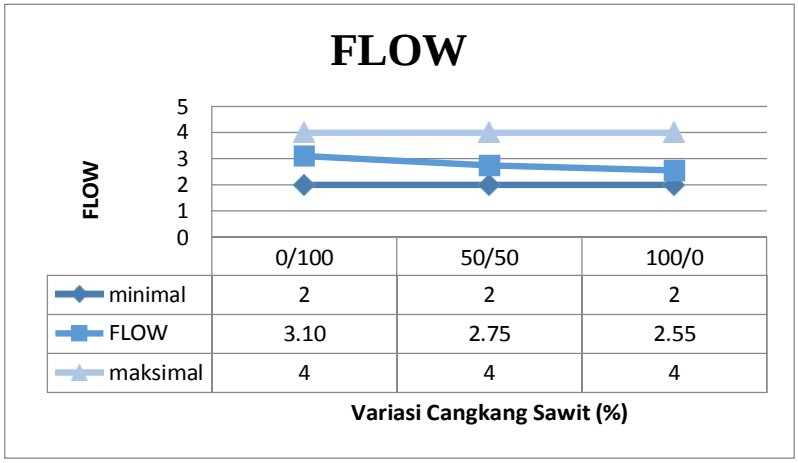
Gambar IV. 12 Variasi Cangkang Sawit Terhadap Nilai Stabilitas
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil 2024

Hasil dari Gambar IV.12, dimana hasil dari setiap variasi memenuhi spesifikasi bina marga yaitu minimal 800kg dan dari hasil yang diperoleh menunjukkan nilai STABILITAS melebihi 800kg.

IV.5.1.5 Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan (Flow) adalah besarnya penurunan atau perubahan bentuk benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga stabilitas menurun yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterima.

]

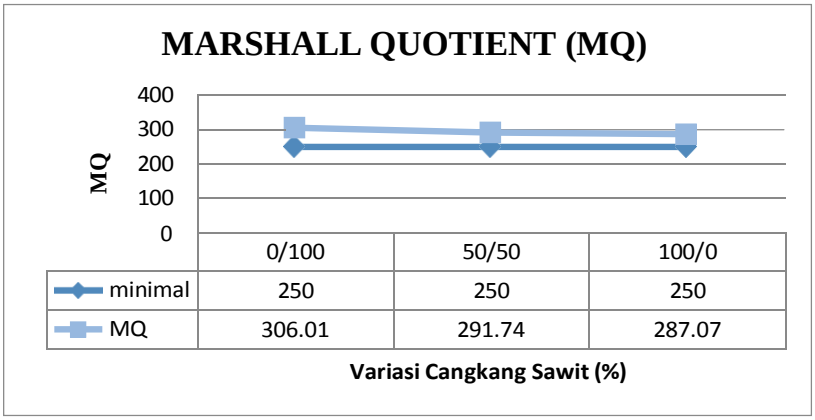


Gambar IV. 13 Variasi Cangkang Sawit Terhadap Nilai Kelelehan
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil 2024

Beradasarkan Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018, nilai spesifikasi pada kelelehan (flow) yang diisyaratkan adalah minimal 2 mm dan maksimal 4 mm. Dapat dilihat dari Gambar IV.13, hasil yang diperoleh dari setiap variasi tidak melebihi dari standar maksimal yang ditentukan.

IV.5.1.6 MQ (*Marshall Question*)

Marshall Quetion adalah hasil bagi antara stabilitas dengan flow. Nilai *Marshall Quetion* akan memberikan nilai fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai *Marshall Quetion* maka campuran semakin kaku dan sebaliknya jika semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur.



Gambar IV. 14 Variasi Cangkang Sawit Terhadap Nilai MQ
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil 2024

Berdasarkan standar Bina Marga spesifikasi minimal 250 kg/mm, dapat dilihat pada Gambar IV.14 menunjukkan bahwa nilai yang dihasilkan pada setiap variasi memenuhi spesifikasi bina marga. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai pada pengujian Marshall Quetion memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Namun pada hasil yang diperoleh pada variasi 100/0 mengalami penurunan, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi variasi penggunaan Cangkang Sawit maka nilai yang didapatkan semakin rendah.

IV.5.2 Pengujian Cantabro

Uji Cantabro dilakukan untuk mengetahui ketahanan campuran aspal terhadap granulasi yang dapat diuji abrasi (uji Cantabro). Untuk mengetahui keausan benda uji, benda uji yang dipadatkan (briket) ditempatkan di dalam drum mesin Los Angeles Berikut adalah tahap – tahap saat pengujian cantabro:

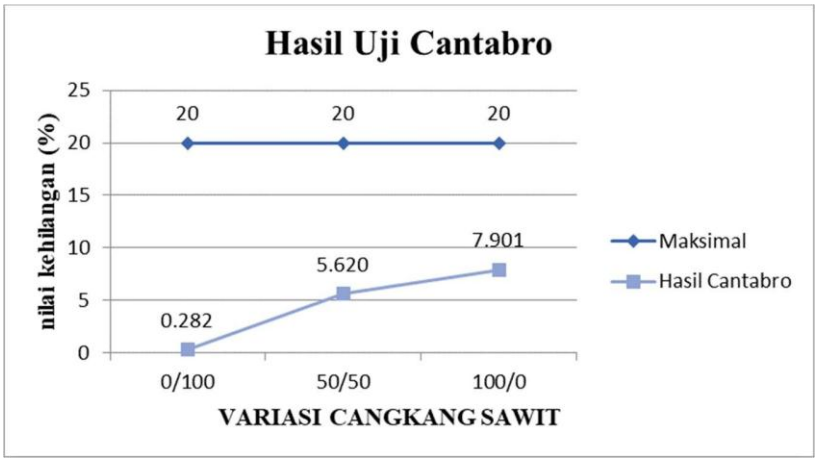
1. Menimbang berat benda uji sebelum dilakukan pengujian
2. Memasukkan benda uji pada mesin Los Angeles
3. Menjalankan mesin Los Angeles sebanyak 300 putaran
4. Menimbang kembali benda uji setelah di Los Angeles

Tabel IV. 17 Hasil Pengujian Cantabro

Varasi Cangkang Sawit	No. Sample	Kadar Aspal	Berat Sebelum Pengujian (Mo)	Berat Setelah Pengujian (Mi)	Kehilangan Berat (Mo-Mi)	Rata-Rata Kehilangan Berat	Spesifikasi BINA MARGA
(%)		(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)
0%	1	6,75	1189	1137	52	4,373	Maks.20
	2		1178	1153	25	2,122	

	3		1186	1140	46	3,879
Rata-Rata			**1184**	**1143**	**41**	**3,458**
50%	1	6,75	1129	1074	55	4,872
	2		1160	1073	87	7,500
	3		1113	1045	68	6,110
Rata-Rata			**1134**	**1064**	**70**	**6,160**
100%	1	6,75	1145	1020	125	10,917
	2		1164	1048	116	9,966
	3		1130	1057	73	6,460
Rata-Rata			**1146**	**1042**	**105**	**9,114**

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil Unifa, 2024



Gambar IV. 15 Grafik Uji Cantabro

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil Unifa, 2024

Berdasarkan dari syarat Standar Spesifikasi Bina Marga 2018 yang diisyaratkan adalah maksimal 20%. Dimana hasil pengujian yang dilakukan dapat diuraikan pada Tabel IV.16 dan dilihat dalam bentuk grafik pada Gambar IV.15 yang menjelaskan bahwa nilai rata – rata kehilangan berat pada variasi 0/100 sebesar 3.458%, untuk variasi 50/50 sebesar 6.160% dan untuk variasi 100/0 sebesar 9,114%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada pengujian ini nilai yang dihasilkan memenuhi Standar Spesifikasi Bina Marga yang telah ditentukan. Dari hasil

pengujian cantabro dapat dilihat dari grafik bahwa pada variasi 50/50 dan variasi 100/0 mengalami kenaikan yang cukup signifikan, hal tersebut dipengaruhi oleh Cangkang Sawit sebagai subtitusi Filler memiliki tingkat kekerasan dan ketahan yang menurun akibat dari perubahan suhu dari dingin menjadi panas yang mencapai 160 derajat sehingga tingkat kerekatan antara campuran menjadi berkurang, lalu faktor berikutnya adalah pada proses pembuatan benda uji dilakukan oleh orang-orang yang berbeda dan tentu memiliki perbedaan dari segi pengerjaan.

BAB V

PENUTUP

V.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil pengujian kadar aspal optimum yang telah dilakukan di laboratorium pada benda uji dengan variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7%, memperoleh nilai kadar aspal optimum yang paling baik untuk digunakan yaitu pada kadar aspal optimum 6,75%.
2. Pada pengujian karakteristik marshall, penggunaan Cangkang Sawit sebagai subtitusi Filler semuanya memenuhi spesifikasi.
3. Mengacu pada Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 yang diisyaratkan yaitu maksimal 20% oleh sebab itu dapat di simpulkan bahwa pengujian cantabro pada subtitusi penggunaan Cangkang Sawit terhadap Filler memenuhi spesifikasi sebab nilai rata – rata yang di peroleh tidak di atas 20% dari persyaratan yang ditentukan,

V.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian berikutnya dengan menggunakan bahan pengganti yang berbeda atau kadar aspal yang berbeda.
2. Perlu dilakukan penelitian berikutnya dengan penambahan kadar variasi Cangkang Sawit
3. Perlu dilakukan penelitian berikutnya dengan menjadikan Cangkang Sawit sabagai substitusi agregat halus.

DAFTAR PUSTAKA

Anas Tahir. (2018). *Karakteristik Campuran Beton Aspal AC-WC Dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Abu Terbang Batu Bara*.

ASTM D4791 - 19 Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate. (n.d.). Retrieved October 27, 2021, from https://www.astm.org/Standards/D4791

Bina Marga 2018. (n.d.). *Campuran Beraspal Panas (hotmix)*.

Daniel Tingkas. (n.d.). *Perencanaan Campuran Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC) Menggunakan Agregat Dari Banjarmasin Dan Pasir Dari Tangkuling*.

Imannurrohman N, Sudarno, Amin M. (2021). *Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Perkerasan Laston Asphalt Concrete – Wearing Coarse (AC-WC)*. Jurnal Rekayasa Infrastruktur Sipil v.02, n.1, p. 25-32.

Kasan, M. (2009). Karakteristik Stabilitas dan Stabilitas Sisa Campuran Beton Aspal Daur Ulang. *Mektek, 11*(2), 134–146.

Kementrian PUPR. (n.d.). *Pelatihan Spesifikasi Umum Untuk Pekerjaan Konstruksi Bidang Jalan dan Jembatan* .

Lala Riyadi. (2020). *Pengaruh Cangkang Buah Kelapa Sawit Sebagai Subtitusi Agregat Kasar Terhadap Karakteristik Maeshall Campuran Asphalt Conrete-Binder Course (AC-BC)*.

Nurhayati Doda. (2022). *Pengaruh Abu Cangkang Pala Sebagai Subtitusi Filler Terhadap Campuran Lapisan AC-WC*.

Putrawirawan, A., Pranoto, Y., Palondongan, M. I., Samarinda, P. N., & Marshall, K. (2018). P-39 Alternatif Penambahan Batu Lateritsebagai Bahan Substitusi Agregat Kasar Pada Perkerasanasphalt Concrete – Binder Course (Ac-Bc) the Addition Alternative of Laterit As Materials Subtitutioncourse Aregate To Pavementasphalt Concrete - Binder. *SNITT Politeknik Negeri Balikpapan*.

Putri, A., & Risdianto, Y. (2019). Pemakaian Limbah Aspal Sebagai Subtitusi Agregat Pada Campuran Aspal Porus. *Rekayasa Teknik Sipil*. https://jurnalmahasiswa.unesa.ac.id/index.php/rekayasa-teknik sipil/article/view/29828.

ResearchGate. (n.d.). *Pemanfaatan Limbah Cangkang Kemri Dan Terak Tanur Sebagai Pengganti Agregat Halus Pada Campuran AC-WC*.

Wandrian Jeftanus Tamarron. (2023). *Studi Pengaruh Penggunaan Cangkang Kemiri Sebagai Subtitusi Agregat Kasar Terhadap Campuran AC-WC*.

Wiyono, E. (2015). Untuk Daur Ulang Campuran Beton Aspal. *Politeknologi*, *14*(1), 1–8.

Zainal Safariska. (2020). *Pengaruh Abu Cangkang Kemiri Sebagai Subtitusi Agrgat Halus (Filler) Terhadap Campuran Lapisan AC-WC*.

LAMPIRAN

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 : YASRIL

Diperiksa :

Pengujian : Karakteristik Agregat

Penelitian : Tugas Akhir

Berat Bahan : 2500gr (Chipping)

No. Contoh		I	II	Rata-rata
Berat Contoh Kering Oven (Gr)	A	2445,00	2485,00	2465,00
Berat Contoh Kering Permukaan (Gr)	B	2505,00	2505,00	2505,00
Berat Contoh Dalam Air (Gr)	C	1612,00	1605,00	1608,50
Berat Jenis Bulk (Atas Dasar Kering Oven)	$\frac{\square}{\square - \square}$	2,74	2,76	2,75
Berat Jenis Bulk SSD	$\frac{\square}{\square - \square}$	2,81	2,78	2,80
Berat Jenis Semu	$\frac{\square}{\square - \square}$	2,94	2,82	2,88
Penyerapan Air	$\frac{\square - \square}{\square} \square 100\%$	2,45	0,80	1,63

Makassar, 23 februari 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik

Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)

LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR
Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 9023

Lampiran 2 Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus

Dikerjakan : YASRIL

Diperiksa :

Pengujian : Karakteristik Agregat

Penelitian : Tugas Akhir

Berat Bahan : 500gr (Pasir)

No. Contoh		I	II	Rata-rata
Berat Contoh Kering Oven (Gr)	A	493,00	495,00	494,00
Berat Contoh Kering Permukaan (Gr)	B	748,00	745,00	746,50
Berat Contoh Dalam Air (Gr)	C	1055,00	1055,00	1055,00
Berat Jenis Bulk (Atas Dasar Kering Oven)	$\frac{\square}{\square + 500 - \square}$	2,55	2,61	2,58
Berat Jenis Bulk SSD	$\frac{500}{\square + 500 - \square}$	2,59	2,63	2,61
Berat Jenis Semu	$\frac{\square}{\square + \square - \square}$	2,65	2,68	2,67
Penyerapan Air	$\frac{500 - \square}{\square} \square 100\%$	1,42	1,01	1,22

Makassar, 23 februari 2024

Koordinator Laboratorium Teknik

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 : YASRIL

Diperiksa :

Pengujian : Karakteristik Agregat

Penelitian : Tugas Akhir

Berat Bahan : 5000gr (Chipping)

Gradasi Saringan		No. Sampel			
		I		II	
		A	B	C	D
Lolos	Tertahan	Berat Sebelum (gr)	Berat Sesudah (gr)	Berat Sebelum (gr)	Berat Sesudah (gr)
¾”	½”	2500	2332	2500	2458
½”	3/8”	2500		2500	
Jumlah Berat (gram)		5000		5000	
Tertahan Saringan No. 8		2332		2458	
Keausan		$\frac{5000-2332}{5000}$ x100% =53,36%		$\frac{5000-2458}{5000}$ x100% =50,84%	
$\frac{\square - \square}{\square} \square$ 100%					
Rata-rata		52,10%			

Makassar, 23 februari 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik

Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)

Lampiran 4 Pemeriksaan Indeks Kepipihan Agregat Kasar

Dikerjakan : YASRIL

Diperiksa :

Pengujian : Karakteristik Agregat

Penelitian : Tugas Akhir

Berat Bahan : 1000gr (Chipping)

Nomor	Gradasi Saringan	Ukuran Thickness Gauge		Berat Lolos Slot (Gram)	Berat Tertahan Slot (Gram)	Total Berat (Gram)
		Lebar (mm)	Panjang (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
Total				248	752	1000
Indeks Kepipihan	$= \frac{\text{Total Berat } A}{\text{Total Berat } C} \times 100\ \%$			$\frac{248}{1000} \times 100\% = 24.8\%$		

Makassar, 23 februari 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik
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 : YASRIL

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

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

Makassar, 23 februari 2024

Mengetahui;
Koordinator Laboratorium Teknik
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 : YASRIL

Diperiksa :

Pengujian : Karakteristik Agregat

Penelitian : Tugas Akhir

Berat Bahan : 1500gr

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"	226,00	226,00	15,07	84,93
3/8"	278,00	504,00	33,60	66,40
4	575,00	1079,00	71,93	28,07
8	421,00	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, 23 februari 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik

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 : YASRIL

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	192,00	192,00	19,20	80,80
30	161,00	353,00	35,30	64,70
50	169,00	522,00	52,20	47,80
100	142,00	664,00	66,40	33,60
200	182,00	846,00	84,60	15,40
PAN	154,00	1000,00	100,00	0,00

Makassar, 23 februari 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik

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 : YASRIL

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, 23 februari 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik

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 Analisa Data Bricket Gradasi Bina Marga

Dikerjakan : YASRIL

Diperiksa :

Pengujian :

Penelitian : Tugas Akhir

Material Chipping		=	(	100%	-		6,75%	)	x	65%	x	1200	=	727,35
3/4	=	(	100%	-	100,00%	)	x	727,35	=	0,00	gram			
1/2	=	(	100,00%	-	84,93%	)	x	727,35	=	109,61	gram			
3/8	=	(	84,93%	-	66,40%	)	x	727,35	=	134,78	gram			
no. 4	=	(	66,40%	-	28,07%	)	x	727,35	=	278,79	gram			
no.8	=	(	28,07%	-	0,00%	)	x	727,35	=	204,17	gram			
no. 16	=	(	0,00%	-	0,00%	)	x	727,35	=	0,00	gram			
no. 30	=	(	0,00%	-	0,00%	)	x	727,35	=	0,00	gram			
no. 50	=	(	0,00%	-	0,00%	)	x	727,35	=	0,00	gram			
no. 100	=	(	0,00%	-	0,00%	)	x	727,35	=	0,00	gram			
no. 200	=	(	0,00%	-	0,00%	)	x	727,35	=	0,00	gram			
PAN	=	(	0,00%	-	0,00%	)	X	727,35	=	0,00	gram			
Material pasir		=	(	100%	-		6,75%	)	x	30%	x	1200	=	335,7
3/4	=	(	100%	-	100%	)	x	335,70	=	0,00	gram			
1/2	=	(	100%	-	100%	)	x	335,70	=	0,00	gram			
3/8	=	(	100%	-	100%	)	x	335,70	=	0,00	gram			
no. 4	=	(	100%	-	100%	)	x	335,70	=	0,00	gram			
no.8	=	(	100%	-	100%	)	x	335,70	=	0,00	gram			
no. 16	=	(	100%	-	80,80%	)	x	335,70	=	64,45	gram			
no. 30	=	(	81%	-	64,70%	)	x	335,70	=	54,05	gram			
no. 50	=	(	64,70%	-	47,80%	)	x	335,70	=	56,73	gram			
no. 100	=	(	47,80%	-	33,60%	)	x	335,70	=	47,67	gram			
no. 200	=	(	33,60%	-	15,40%	)	x	335,70	=	61,10	gram			
PAN	=	(	15,40%	-	0,00%	)	X	335,70	=	51,70	gram			
Material Debu Abu		=	(	100%	-		6,75%	)	x	5%	x	1200	=	55,95
3/4	=	(	100%	-	100%	)	x	55,95	=	0,00	gram			
1/2	=	(	100%	-	100%	)	x	55,95	=	0,00	gram			
3/8	=	(	100%	-	100%	)	x	55,95	=	0,00	gram			
no. 4	=	(	100%	-	100%	)	x	55,95	=	0,00	gram			
no.8	=	(	100%	-	100%	)	x	55,95	=	0,00	gram			
no. 16	=	(	100%	-	100%	)	x	55,95	=	0,00	gram			
no. 30	=	(	100%	-	100%	)	x	55,95	=	0,00	gram			
no. 50	=	(	100%	-	93,90%	)	x	55,95	=	3,41	gram			
no. 100	=	(	93,90%	-	35,20%	)	x	55,95	=	32,84	gram			
no. 200	=	(	35,20%	-	15,60%	)	x	55,95	=	10,97	gram			
PAN	=	(	15,60%	-	0,00%	)	X	55,95	=	8,73	gram			

Makassar, 23 februari 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik

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 Nilai Variasi Batu Zeolit

Dikerjakan : YASRIL

Diperiksa :

Pengujian :

Penelitian : Tugas Akhir

Variasi Batu Zeolit	No. Saringan			
	50	100	200	pan
0	3.41	32.84	10.97	8.73
50	1.71	16.42	5.49	4.37
100	3.41	32.84	10.97	8.73

Makassar, 23 februari 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik

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 Data Pengujian Marshall

Dikerjakan : YASRIL

Diperiksa :

Pengujian :

Penelitian : Tugas Akhir

Varasi Abu Batu Zeolit	No. Sampel	Nilai Hasil Pengujian Marshall					
		VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
0%	1	3,45	15,81	77,58	965,96	2,68	360,43
	2	4,89	16,98	71,22	928,26	3,08	301,38
	3	3,8	16,03	76,3	951,82	2,17	438,63
Rata-rata		**4,08**	**16,27**	**75,03**	**948,68**	**2,64**	**366,82**
50%	1	3,6	15,85	77,31	918,84	2,80	328,16
	2	4,09	16,29	74,88	1036,64	2,73	379,72
	3	4,88	16,97	71,26	871,72	3,00	290,57
Rata-rata		**4,19**	**16,37**	**74,48**	**942,40**	**2,84**	**332,82**
100%	1	3,62	15,88	77,18	918,84	2,90	316,84
	2	7,84	19,55	59,93	838,74	3,01	278,65
	3	2,91	15,26	80,9	1039,74	4,01	259,29
Rata-rata		**4,79**	**16,9**	**72,67**	**932,44**	**3,31**	**284,93**

Makassar, 23 februari 2024

Mengetahui;
Koordinator Laboratorium Teknik
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 Analisa Data Pengujian Cantabro

Dikerjakan : YASRIL

Diperiksa :

Pengujian :

Penelitian : Tugas Akhir

Varasi Abu Batu Zeolit	No. Sample	Kadar Aspal	Berat Sebelum Pengujian (Mo)	Berat Setelah Pengujian (Mi)	Kehilangan Berat (Mo-Mi)	Rata-Rata Kehilangan Berat	Spesifikasi BINA MARGA
(%)		(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)
0%	1	6,75	1189	1137	52	4,373	Maks.20
	2		1178	1153	25	2,122	
	3		1186	1140	46	3,879	
Rata-Rata			**1184**	**1143**	**41**	**3,458**	
50%	1	6,75	1129	1074	55	4,872	
	2		1160	1073	87	7,500	
	3		1113	1045	68	6,110	
Rata-Rata			**1134**	**1064**	**70**	**6,160**	
100%	1	6,75	1145	1020	125	10,917	
	2		1164	1048	116	9,966	
	3		1130	1057	73	6,460	
Rata-Rata			**1146**	**1042**	**105**	**9,114**	

Makassar, 23 februari 2024

Mengetahui;
Koordinator Laboratorium Teknik
Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)

Lampiran 13 Dokumentasi Pengujian

Batu Zeolit

Pencucian Agregat (Chipping)

Pencucian Agregat (Pasir)

Penjemuran Agregat (Chipping)

Penjemuran Agregat (Pasir)

Proses Penyaringan

Pembuatan Benda Uji (Penimbangan Agregat)

Pembuatan Benda Uji (Proses Mix Des

Pembuatan Benda Uji (Pengecekan Suhu Agregat)

Pembuatan Benda Uji (Penambahan Aspal Pada Agregat)

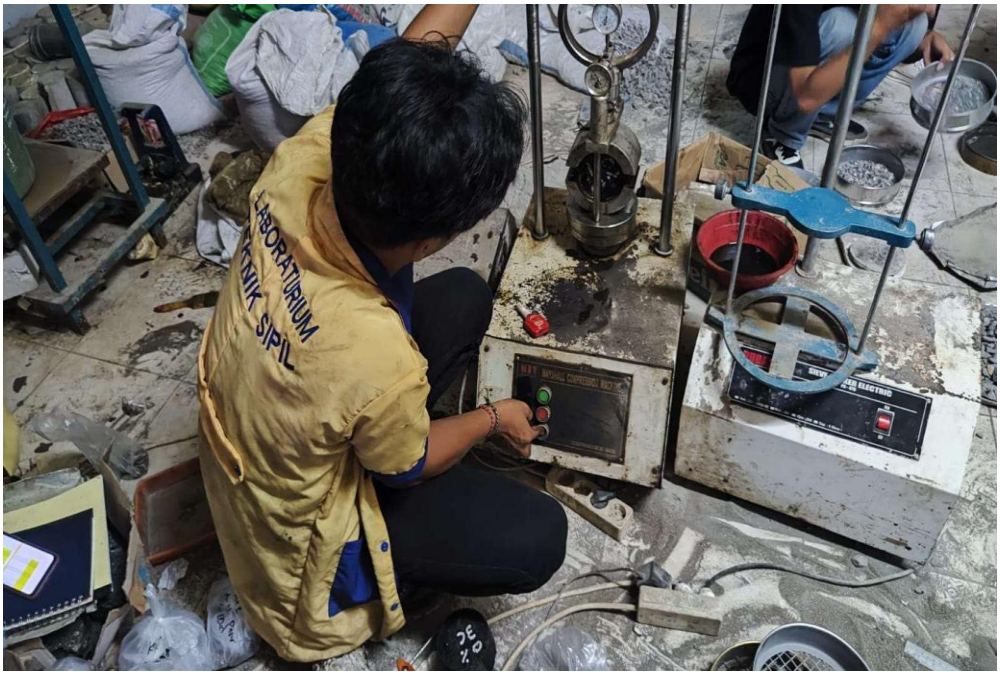
\

Pembuatan Benda Uji (Penumbukan)

Pembuatan Benda Uji (Pencetakan Bri

Pengujian Marshall (Berat Jenis)

Pengujian Marshall (Perendaman Sampel Dalam Water Bath)



Pengujian Marshall (Marshall Compression)

Hasil Pengujian Marshall

Pengujian Cantabro

Hasil Pengujian Cantabro