KARAKTERISTIK *MARSHALL* CAMPURAN AC – WC YANG MENGGUNAKAN ABU TEMPURUNG KELAPA DAN ABU CANGKANG SAWIT SEBAGAI PENGGANTI *FILLER*

SKRIPSI

Oleh :

RIO SYAENANDA PUTRA

NPM. 21310012P

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS IBA

2025

HALAMAN PENGESAHAN

KARAKTERISTIK *MARSHALL* CAMPURAN AC – WC YANG MENGGUNAKAN ABU TEMPURUNG KELAPA DAN ABU CANGKANG SAWIT SEBAGAI PENGGANTI *FILLER*

SKRIPSI

Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Ujian Skripsi
Program Studi Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas IBA

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS IBA

(Dr. Ir. Hardayani Haruno, M.T)

Menyetujui,
Ketua Program Studi
Teknik Sipil

(Robi Sahbar, S.T., M.T.)

Dipindai dengan CamScanner

HALAMAN PENGESAHAN

KARAKTERISTIK *MARSHALL* CAMPURAN AC – WC YANG MENGGUNAKAN ABU TEMPURUNG KELAPA DAN ABU CANGKANG SAWIT SEBAGAI PENGGANTI *FILLER*

SKRIPSI

Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Ujian Skripsi
Program Studi Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas IBA

Telah Diperiksa dan Disetujui oleh :

Pembimbing I **Universitas IBA**	**Pembimbing II** **Universitas IBA**
(Dr. Ir. Ramadhani, ST., MT., IPM)	**(Dr. Ir. Hardayani Haruno, M.T)**

Dipindai dengan CamScanner

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama	:	**RIO SYAENANDA PUTRA**
NPM	:	**21310012P**
Program Studi	:	**Teknik Sipil**
Judul Skripsi	:	**KARAKTERISTIK *MARSHALL* CAMPURAN AC – WC YANG MENGGUNAKAN ABU TEMPURUNG KELAPA DAN ABU CANGKANG SAWIT SEBAGAI PENGGANTI *FILLER*.**

DOSEN PENGUJI

1 **Ir. Pujiono, MT** 1.....

2 **Amelia Rajela, ST, MT** 2.....

3 **Eka Wisnu Sumantri, ST, MT** 3.....

Dipindai dengan CamScanner

SURAT PERNYATAAN
BEBAS PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama	: RIO SYAENANDA PUTRA
NPM	: 21310012P
Program Studi	: Teknik Sipil
Judul Skripsi	: Karakteristik *Marshall* Campuran AC - WC yang Menggunakan Abu Tempurung Kelapa dan Abu Cangkang Sawit sebagai pengganti *Filler*

Dengan ini menyatakan hasil penulisan Skripsi yang saya buat ini merupakan karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila kemudian hari ternyata penulisan Skrispi ini merupakan plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertaggung jawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan tata tertib di Universitas IBA.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak ada paksaan dari siapapun dan oleh siapapun.

Palembang, 2025

Yang membuat pernyataan,

(Rio Syaenanda Putra)

NPM. 21310012P

Dipindai dengan CamScanner

ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang pemanfaatan limbah abu cangkang sawit dan abu tempurung kelapa sebagai pengganti *filler* pada campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC – WC).* Penelitian ini menggunakan metode uji laboratorium, yaitu untuk mencari hasil dari penggunaan bahan tambah *filler* abu cangkang sawit dan abu tempurung kelapa sebagai bahan pengisi dalam lapisan *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC – WC).* Penelitian ini dilakukan melalui uji *Marshall* untuk mengetahui nilai kestabilan dan aliran (meleleh) sampel uji. Sifat *Marshall* mengacu pada beban maksimum yang dapat ditahan campuran aspal, bahkan pada titik lelehnya. Laju aliran dinyatakan dalam kilogram. Parameter *Marshall* antara lain VIM (*Void in Mix*), kumpulan data terkait penelitian berupa referensi dan peralatan pendukung untuk mempelajari campuran lapis aspal hingga mempelajari pengaruh perubahan suhu. Penelitian uji *Marshall* kemudian dilanjutkan dengan mengumpulkan informasi tentang bahan-bahan yang digunakan dalam percobaan laboratorium yang digunakan dalam benda uji. VFA (*Void Filled With Asphalt*), VMA (*Void In Mineral Agregate*), Stabilitas, *Flow* dan Nilai *Marshall Quotien (MQ).*

Kata Kunci : Karakteristik *Marshall*, Aspal, Abu Cangkang Sawit dan Abu Tempurung Kelapa

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya yang diberikan kepada kami, hingga kami dapat menyelesaikan laporan Skripsi yang berjudul **"KARAKTERISTIK *MARSHALL* CAMPURAN AC – WC YANG MENGGUNAKAN ABU TEMPURUNG KELAPA DAN ABU CANGKANG SAWIT SEBAGAI PENGGANTI *FILLER*"** untuk melengkapi persyaratan kurikulum yang harus ditempuh pada Fakultas Teknik Sipil Universitas IBA Palembang.

Dalam penyusunan Skripsi, peneliti banyak mendapatkan bantuan, bimbingan, serta kritik dan masukkan saran dari berbagai pihak baik secara tertulis maupun secara tidak tertulis, terutama saya ucapkan terimakasih kepada Ibu Dr.Ir. Ramadhani, ST., MT., IPM. selaku pembimbing I dan Ibu Dr. Ir. Hardayani Haruno, M.T selaku pembimbing II.

Demikian Skripsi penulis di susun agar dapat menambah ilmu dan pengetahuan bagi pembaca, serta banyak memberi manfaat bagi rekan-rekan Mahasiswa/i Jurusan Teknik Sipil Universitas lainnya, walaupun penulis dengan sadar memahami masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan ini. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membantu dalam memperbaiki kekurangan-kekurangan pada Skripsi ini.

Palembang, 2025

Penulis

RIO SYAENANDA PUTRA

Dipindai dengan CamScanner

DAFTAR ISI

ABSTRAK ..... **VI**

KATA PENGANTAR ..... **VII**

DAFTAR ISI ..... **VIII**

BAB I PENDAHULUAN **1**

1.1. Latar Belakang **1**

1.2. Rumusan Masalah **2**

1.3. Maksud dan Tujuan **2**

1.4. Manfaat Penelitian **3**

1.5. Ruang Lingkup Penelitian **3**

1.6. Sistematika Penulisan **3**

BAB II TINJAUAN PUSTAKA **5**

2.1. Aspal **5**

2.2. Fungsi dan Jenis Aspal **6**
2.2.1 Aspal Alam 6
2.2.2 Aspal Minyak 7
2.2.3 Aspal Modifikasi 8

2.3. Pengujian Sifat Aspal **9**

2.4. Tempurung Kelapa **11**

2.5. Abu Cangkang Sawit **12**

2.6. Agregat **12**

2.7. Lapis Aspal Beton (*Asphalt Concerate*) **15**

2.8. Design Mix Formula (DMF) **16**

2.9. Job Mix Formula (JMF) **16**

2.10. Pengujian *Marshall* **17**

2.11. Stabilitas (*stability)* **18**

2.12. Kelelehan (*flow)* **19**

2.13. Rongga Dalam Agregat (VMA) **19**

2.14. Ronga Dalam Campuran (VIM) **20**

2.15. *Void Filled With Asphalt* (VFA) **21**

2.16. *Marshall Quotien* (MQ) **22**

BAB III METODOLOGI PENELITIAN **24**

3.1. Diagram Alir Penelitian **24**

3.2. Studi Literatur **25**

3.3. Topik Penelitian **25**

3.4. Alat dan Bahan **25**

3.5. Pengujian Bahan Uji **29**

3.6. *Design Mix* Formula (DMF) **30**

3.7. *Job Mix* Formula (JMF) **31**

3.8. Pembuatan Benda Uji **31**

3.9.* Pengujian *Marshall **32**

3.10. Analisa data **33**

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN **34**

4.1. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat **34**

4.1.1. Agregat Halus dan Agregat Kasar 34

4.1.2. Hasil Pengujian Agregat Kasar 34

4.1.3. Hasil Pengujian Agregat Halus 34

4.2. Hasil Pengujian Analisa Saringan **36**

4.3. Hasil Pengujian Berat Jenis ACS dan ATK **36**

4.4. Hasil Pengujian Aspal 37

4.5. Perancangan Campuran AC-WC 39
4.5.1 Penentuan Kadar Aspal Rencana (Pb) 39
4.5.2 Perancangan Job Mix Formula (JMF) 40

4.6. Hasil Pengujian *Marshall* Sampel Normal 42

4.7. Hasil Pengujian *Marshall* Sampel ACS 50% 43

4.8. Hasil Pengujian *Marshall* Sampel ATK 50% 44

4.9. Hasil Karakteristik *Marshall* Antar Sampel 45
4.9.1 Paramater VMA 45
4.9.2 Parameter VIM 45
4.9.3 Parameter VFA 46
4.9.4 Parameter Stabilitas 46
4.9.5 Parameter *Flow* 47

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 48

5.1. Kesimpulan 48

5.2. Saran 48

DAFTAR PUSTAKA 50

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1. Pengujian dan Persyaratan Aspal Keras pen 60/70 11

Tabel 2.2. (Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi I, 2018) 13

Tabel 2.3. Ketentuan Agregat Halus.....14

Tabel 2.4. (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018).....14

Tabel 2.5. Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC) Aspal Karet 16

Tabel 3.1. Gradasi AC-WC 31

Tabel 3.2. Jumlah dan Variasi Sampel *Marshall*.....32

Tabel 3.3. Batas Spesifikasi Campuran AC-WC 32

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Agregat Kasar 35

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Agregat Halus 35

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat.....36

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Berat Jenis Abu Cangkang Sawit.....37

Tabel 4.5. Hasil Pengujian Berat Jenis Abu Tempurung Kelapa.....37

Tabel 4.6. Hasil Pengujian Penetrasi Aspal 38

Tabel 4.7. Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal.....38

Tabel 4.8. Hasil Perhitungan Batas Kadar Aspal Rencana 39

Tabel 4.9. Gradasi AC-WC 41

Tabel 4.10. Hasil Perhitungan JMF Campuran AC-WC yang diusulkan 41

Tabel 4.11. Hasil Rata-rata Pengujian *Marshall* Sampel Normal….....42

Tabel 4.12. Hasil Rata-rata Pengujian *Marshall* Sampel ACS 50% ….....43

Tabel 4.13. Hasil Rata-rata Pengujian *Marshall* Sampel ATK 50% ….....44

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1. Ilustrasi Pengertian VMA.....20

Gambar 2.2. Ilustrasi Pengertian VIM 21

Gambar 2.3. Ilustrasi pengertian VFA 22

Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian 25

Gambar 3.2. Alat Uji Analisa dan Berat Jenis Agregat 25

Gambar 3.3. Alat Uji *Marshall*.....26

Gambar 3.4. Mesin *Asphalt Compactor*.....26

Gambar 3.5. Alat untuk pengeluaran Benda Uji.....27

Gambar 3.6. Alat Termometer 27

Gambar 3.7. *Mould*…… 27

Gambar 3.8. Timbangan Digital.....27

Gambar 3.9. *Waterbath*..... 28

Gambar 3.10. Aspal Penetrasi 28

Gambar 3.11. *Furnace*…… 28

Gambar 3.12. Abu Cangkang Sawit.....29

Gambar 3.13. Abu Tempurung Kelapa.....29

Gambar 4.1. Hasil JMF Campuran AC-WC 41

Gambar 4.2. Grafik Karakteristik *Marshall* VMA 46

Gambar 4.3. Grafik Karakteristik *Marshall* VIM 46

Gambar 4.4. Grafik Karakteristik *Marshall* VFA 47

Gambar 4.5. Grafik Karakteristik *Marshall* Stabilitas 48

Gambar 4.6. Grafik Karakteristik *Marshall Flow* 48

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Hasil Pengujian *Marshall* Campuran Beraspal (Normal)

Lampiran 2 : Hasil Pengujian *Marshall* Campuran Beraspal (ACS50%)

Lampiran 3 : Hasil Pengujian *Marshall* Campuran Beraspal (ATK50%)

Lampiran 4 : JMF (*Job Mix* Formula)

Lampiran 5 : Dokumentasi

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jalan merupakan salah satu infrastruktur penting yang sangat dibutuhkan dalam sistem transportasi lokal, kehadiran mereka membantu menghubungkan satu tempat dengan tempat lain sehingga setiap kebutuhan dapat terpenuhi. Jalan yang kuantitas dan kualitasnya cukup mendukung pembangunan daerah. Prasarana jalan harus direncanakan secara matang dan mampu memberikan pelayanan yang baik sehingga meningkatkan aksesibilitas antar wilayah serta memberikan keamanan dan kenyamanan dalam berkendara (Rahmatika et al., 2024).

Kondisi jalan yang berat dan berulang dapat menurunkan kualitas permukaan jalan sehingga membuat pengendara menjadi tidak nyaman dan tidak aman. Kerusakan jalan tentunya berdampak pada kecepatan dan kenyamanan pengguna jalan serta menimbulkan banyak kerugian yang langsung dirasakan oleh pengguna jalan karena banyaknya korban jiwa yang terjadi akibat kerusakan jalan yang tidak segera ditangani oleh pihak yang berwajib. Kerusakan jalan ini juga mempengaruhi jenis material yang digunakan dipermukaan jalan (Gumelar et al., 2023).

Perkerasan jalan raya adalah suatu bagian jalan raya yang diperkeras dengan lapisan struktur tertentu dengan ketebalan, kekuatan, kekakuan, dan kestabilan tertentu sehingga beban lalu lintas dapat merata ke seluruh lapisan bawah tanah. Perkerasan adalah suatu lapisan perkerasan yang terletak di antara tanah dasar dan roda kendaraan dan digunakan untuk melayani sistem transportasi, diperkirakan tidak ada kerusakan signifikan yang terjadi selama masa pakainya. Perkerasaan jalan dibagi menjadi tiga yaitu perkerasan kaku, perkerasaan lentur dan perkerasaan komposit (Pasaribu & Simanullang, 2021). Beton aspal atau *Asphalt Concrete* (AC) merupakan salah satu jenis dari lapis perkerasan konstruksi pada perkerasan lentur. Campuran beton aspal tersebut terdiri atas agregat kasar, agregar halus, *filler* dan menggunakan aspal. Beragam beton aspal yang sering digunakan yaitu lapis

pondasi (AC-Base), lapis pengikat (AC-BC) dan lapis aus (AC-WC).

Jenis AC- WC merupakan lapisan yang paling atas dan bersentuhan langsung dengan roda kendaraan, Oleh karena itu, diperlukan perencanaan yang detail, termasuk desain material dan metode pelaksanaannya.

Penelitian ini mengusulkan pemanfaatan campuran AC - WC yang menggunakan tempurung kelapa dan abu cangkang sawit sebagai pengganti *filler* banyak digunakan sebagai bahan perkerasan jalan, terutama bahan pengubah aspal, karena memberikan tingkat fleksibilitas dan ketahanan tertentu terhadap perubahan suhu (Elvira Putri & Widayanti, 2023) (Farida et al., 2025).

Berdasarkan pembahasan di atas, campuran AC - WC yang menggunakan abu tempurung kelapa dan abu cangkang sawit sebagai pengganti *Filler* dapat memberikan dampak positif terhadap campuran aspal (Handoko et al., 2022). Oleh karena itu diusulkan penelitian lebih lanjut mengenai abu tempurung kelapa dan abu cangkang sawit sebagai pengganti *Filler* pada campuran AC-WC.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, kita dapat mengambil beberapa rumusan masalah :

1) Bagaimana karakteristik *Marshall* pada campuran aspal beton AC-WC yang menggunakan campuran AC - WC yang menggunakan abu tempurung kelapa dan abu cangkang sawit sebagai pengganti *Filler*?
2) Berapa persen kadar nilai yang masuk spesifikasi Bina Marga pada campuran aspal AC-WC yang menggunakan campuran abu tempurung kelapa dan abu cangkang sawit sebagai pengganti *Filler*?

1.3. Maksud dan Tujuan

Maksud dan Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1) Menganalisis karakteristik *Marshall* untuk campuran aspal beton AC-WC yang menggunakan campuran abu tempurung kelapa dan abu cangkang sawit sebagai pengganti *Filler*.

2) Menganalisis nilai yang masuk spesifikasi Bina Marga pada campuran aspal beton AC-WC yang campuran abu tempurung kelapa dan abu cangkang sawit sebagai pengganti *Filler* berdasarkan parameter *Marshall*.

1.4. Manfaat Penelitian

Berdasarkan manfaat penelitian ini diharapkan bisa memberikan pemahaman dan menambah wawasan mengenai pengaruh penggunaan Abu Cangkang Kelapa Sawit sebagai bahan tambah pengisi (*filler*) dalam campuran laston (AC-WC) sebagai lapis aus permukaan perkerasan lentur ditinjau terhadap sifat *Marshall*. Sehingga diharapkan dapat direkomendasikan penggunaan abu cangkang kelapa sawit sebagai bahan tambah pengisi pada perkerasaan lentur jalan raya.

1.5. Ruang Lingkup Penelitian

1) Penelitian menggunakan gradasi campuran AC-WC sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga tahun 2018 Revisi 2.
2) Bahan material yang digunakan berupa aspal penetrasi 60/70, batu pecah, screen, abu batu dan pasir.
3) Pengujian campuran AC-WC menggunakan metode *Marshall test*
4) *Filler* yang digunakan berupa semen *portland* yang lolos ayakan no. 200
5) Abu Tempurung Kelapa dan Abu Cangkang Sawit yang digunakan sebagai pengganti *Filler* dengan kadar 50%

1.6. Sistematika Penulisan

Untuk penyusunan proposal skripsi ini, proposal ini disajikan dalam beberapa pokok pembahasan sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini memuat tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat, ruang lingkup penelitian, metode pengumpulan data, dan sistem penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan langsung dengan penelitian yang dilakukan dan tinjauan literatur yang mendasari yang mendukung teori yang berkaitan langsung dengan penelitian.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi metode penelitian yang dilakukan, diagram alir metode penelitian, bahan dan alat yang digunakan pada saat penelitian, pengujian material di laboratorium, mendesain dan pembuatan campuran, pembuatan benda uji serta pengujian benda uji dengan menggunakan metode *Marshall Test.*

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil dari analisa penelitian dan pengolahan data hasil yang telah di lakukan selama di laboratorium.

BAB 5 PENUTUP

Bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Aspal

Aspal diartikan sebagai suatu bahan perekat yang berwarna hitam atau coklat tua, yang komponen utamanya adalah bitumen, sehingga disebut juga aspal. Aspal terbentuk secara alami atau merupakan residu dari penyulingan minyak bumi. Aspal merupakan bahan termoplastik yang berbentuk padat hingga agak padat pada suhu tertentu yaitu aspal akan mencair jika dipanaskan, dan kembali membeku jika suhu menurun. Sedangkan sifat aspal lainnya adalah :

a. Aspal mempunyai sifat mekanis (*Rheologic*), yaitu hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) dipengaruhi oleh waktu (Putra, 2023). Apabila mengalami pembebanan dengan waktu pembebanan yang sangat cepat, maka aspal menjadi elastis, tetapi jika pembebanannya terjadi dalam jangka waktu yang lambat maka sifat aspal menjadi plastis (*viscous*).
b. Aspal adalah bahan yang thermoplastis, artinya konsistensinya atau viskositasnya berubah dengan suhu. Jika suhu aspal lebih tinggi, viskositasnya akan lebih rendah atau lebih encer, dan sebaliknya. Aspal dengan viskositas yang rendah akan menyelimuti batuan dengan lebih baik dan secara merata. Ini membuatnya berguna saat menggunakan lapis keras. Akan tetapi pemanasan yang berlebihan akan merusak molekul aspal dan membuatnya rapuh dan getas.
c. Aspal mempunyai sifat *Thixotropy*, artinya adanya tekanan atau deformasi, aspal akan mengeras seiring berjalannya waktu.

Fungsi aspal pada campuran agregat aspal adalah sebagai bahan pengikat viskoelastis yang mempunyai kekentalan tinggi sepanjang masa penggunaan dan berfungsi sebagai pelumas apabila ditebarkan di atas tanah sehingga mudah untuk dipadatkan. Dalam AASHTO (1982) disebutkan bahwa aspal keras dicirikan oleh indeks permeabilitas aspal, angka tersebut menunjukkan derajat kekerasan aspal

atau derajat keseragaman aspal. Semakin tinggi indeks penetrasi aspal maka semakin rendah kekerasan aspalnya; Sebaliknya semakin rendah indeks penetrasi aspal maka kekerasan aspal tersebut semakin tinggi.

Aspal dengan penetrasi rendah digunakan pada cuaca panas atau daerah lalu lintas tinggi, sedangkan aspal semen penetrasi tinggi digunakan pada cuaca dingin atau daerah lalu lintas tinggi pendek. Di Indonesia, aspal semen dengan penetrasi 60/70 dan 80/100 umum digunakan. Persyaratan aspal semen keras diberikan oleh Direktur Jenderal Departemen Jalan.

2.2. Fungsi dan Jenis Aspal

Aspal berfungsi sebagai pengikat dan pengisi antar agregat untuk menciptakan perkerasan lentur pada jalan. Secara umum aspal mencakup berbagai jenis, yaitu:

2.2.1 Aspal Alam

Aspal alam sebagian diambil dari pegunungan, misalnya dari Pulau Buton, dan sebagian lagi diambil dari danau seperti di Trinidad. Aspal alami terbesar di dunia ditemukan di Trinidad, dalam bentuk aspal Danau Trinidad. Indonesia mempunyai aspal alam khususnya di Pulau Buton berupa aspal pegunungan yang disebut Asbuton (Aspal Batu Buton). Asbuton merupakan salah satu jenis batuan yang mengandung aspal. Asbuton merupakan campuran bitumen dan bahan mineral lainnya yang berbentuk batuan. Karena asbuton merupakan bahan yang hanya terdapat di alam, maka kandungan aspal yang dikandungnya sangat bervariasi, dari rendah hingga tinggi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, asbuton mulai diproduksi dalam berbagai bentuk di pabrik pengolahan asbuton. Produk asbuton terbagi menjadi dua kelompok yaitu:

1. Produk asbuton yang mengandung material *filler*, seperti asbuton kasar, asbuton halus, asbuton mikro, dan *butonite mastic asphalt.*
2. Produk asbuton yang telah dimurnikan menjadi aspal murni melalui proses ekstraksi atau proses kimiawi.

2.2.2 Aspal Minyak

Aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu destilasi minyak bumi. Setiap minyak bumi dapat menghasilkan residu jenis *asphaltic base crude oil* yang banyak mengandung aspal, *parafin base crude oil* yang banyak mengandung parafin, atau *mixed base crude oil* yang mengandung campuran antara parafin dan aspal. Untuk perkerasan lentur, aspal berbahan dasar minyak mentah sering digunakan. Aspal merupakan sisa hasil penyulingan bensin, minyak tanah dan solar pada berbagai temperatur. Residu aspal berbentuk padat, namun dengan pengolahan lebih lanjut, residu tersebut dapat berbentuk cair atau teremulsi pada suhu kamar. Jadi, pada aspal dibagi menjadi:

a. Aspal Padat

Aspal padat yaitu aspal yang memiliki bentuk padat atau semi padat pada suhu ruang yang rendah dan menjadi cair jika dipanaskan. Aspal padat dikenal dengan nama semen aspal (*asphalt cement*), yang dipanaskan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan pengikat agregat.

b. Aspal Cair (*Cutback asphalt*)

Aspal cair yaitu aspal yang berbentuk cair pada suhu yang tinggi. Aspal cair merupakan semen aspal yang dicairkan dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi seperti minyak tanah, bensin, atau solar. Aspal cair dibedakan berdasarkan bahan pencairnya menjadi:

1. Aspal Cair Cepat Mantap (*RC = Rapid Curring Cut Back Asphalt*), yaitu aspal cair dengan bahan pencair bensin. RC merupakan aspal cair yang paling cepat menguap.
2. Aspal Cair Mantap Sedang (*MC = Medium Curring Cut Back Asphalt*), yaitu aspal cair yang bahan pelarutnya tidak begitu cepat menguap. Pelarut yang digunakan pada aspal jenis ini biasanya adalah minyak tanah.
3. Aspal Cair Lembar Mantap (*SC = Slow Curring Cut Back Asphalt*), yaitu Aspal cair memiliki penguapan pelarut yang lambat. Pelarut yang digunakan pada aspal jenis ini adalah solar. Viskositas aspal cair sangat ditentukan oleh perbandingan

atau perbandingan pelarut yang digunakan terhadap aspal keras atau yang ada pada aspal cair. Aspal cair tipe MC-800 memiliki nilai viskositas yang lebih tinggi dibandingkan MC-200.

c. Aspal Emulsi (*Emulsified Asphalt*)

Aspal emulsi merupakan suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi, yang dilakukan pencampuran di pabrik. Aspal emulsi ini lebih cair dari pada aspal cair. Di dalam aspal emulsi, butir-butir aspal larut dalam air. Untuk menghindari butiran aspal yang saling menarik membentuk butiran yang lebih besar, maka butiran tersebut diberi muatan listrik.

Berdasarkan muatan listrik yang dikandungnya, aspal emulsi dibedakan atas:

1. Aspal emulsi anonik, yaitu aspal emulsi yang berion negatif.
2. Aspal emulsi kationik, yaitu aspal emulsi yang berion positif.
3. Aspal emulsi non-lonik, yaitu aspal emulsi yang tidak berion (netral).

2.2.3 Aspal Modifikasi

Jenis aspal tambahannya adalah aspal modifikasi. Aspal modifikasi dibuat dengan mencampurkan aspal keras dengan bahan tambahan. Polimer merupakan bahan aditif yang umum digunakan saat ini, itulah sebabnya aspal yang dimodifikasi sering juga disebut aspal polimer. Tergantung pada sifatnya, ada dua jenis bahan polimer yang biasa digunakan untuk tujuan ini yaitu:

1. Aspal *Polymer Elastomer* dan karet

Aspal polymer yaitu jenis-jenis *polyer elastomer* yang SBS (*Styrene Butadine Sterene*), SBR (*Styrene Butadine Rubber*), SIS (*Styrene Isoprene Styrene*), dan karet adalah jenis *polymer elastoner* yang biasanya digunakan sebagai bahan pencampur aspal keras. Penambahan polimer ini dimaksudkan untuk memperbaiki sifat reologi aspal, meliputi penetrasi, viskositas, titik lunak dan elastisitas aspal keras. Campuran aspal berbahan aspal polimer elastomer akan lebih elastis dibandingkan campuran aspal berbahan aspal keras. Proporsi bahan tambahan yang ditambahkan selama produksi aspal polimer harus ditentukan berdasarkan uji laboratorium, karena penambahan bahan tambahan sampai batas tertentu secara

efektif dapat meningkatkan sifat reologi aspal dan campurannya, namun penambahan yang berlebihan justru akan berdampak buruk efek negatif.

2. Aspal *Polymer Plastomer*

Seperti halnya aspal *polymer elastomer*, penambahan bahan polimer fleksibel pada aspal kaku juga bertujuan untuk memperbaiki sifat reologi aspal kaku dan sifat fisik campuran aspal. Jenis *polymer plastomer* yang telah banyak digunakan antara lain adalah EVA (*Ethylene Vinyle Acetate*), *Polypropilane*, dan *Polyethilene*. *Presentase* penambahan *polymer* ini kedalam aspal keras juga harus ditentukan berdasarkan pengujian di labolatorium, yang dikarenakan penambahan bahan tambah sampai dengan batas tertentu penambahan ini dapat memperbaiki sifat-sifat rheologi aspal dan campuran tetapi penambahan yang berlebihan justru akan memberikan pengaruh yang negatif.

2.3. Pengujian Sifat Aspal

Pengujian sifat aspal dapat dilakukan untuk mengetahui dan menentukan sifat fisik dan kimiawi aspal yang sesuai dari tujuannya.

a. Pengujian Penetrasi

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan aspal. Nilai penetrasi yang telah di dapat dari uji penetrasi dari alat penetrometer pada suhu 25º C dengan baban 100 gr selama 5 detik, dimana dilakukan sebanyak 5 kali.

b. Pengujian Titik Lembek

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengukur kepekaan aspal terhadap suhu, dimana bola baja mendorong lapisan aspal ke atas ring, hingga aspal menyentuh dasar pelat yang terletak di bawah ring pada jarak 1 (inci). , setelah pemanasan tertentu yang dipercepat. Berat bola baja 3,45 - 3,55 gr dengan diameter 9,53 mm. Pemeriksaan ini diperlukan untuk mengetahui batas kekerasan aspal. Pengamatan titik lembek dimulai dari suhu 5º C sebagai batas paling tinggi sifat kekakuan dari aspal yang disebabkan oleh sifat termoplastik. Untuk aspal keras jenis penetrasi 60/70, syarat titik lembek berkisar antara 48 ºC – 58 ºC.

c. Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui suhu munculnya nyala api pertama di permukaan aspal dan untuk mengetahui suhu munculnya nyala api pertama di permukaan aspal. Dengan mengetahui nilai titik nyala dan titik api aspal, Anda dapat mengetahui suhu maksimal untuk memanaskan aspal sebelum terbakar. Pengujian ini menggunakan cawan *cleveland* yang diletakan di atas pelat pemanas dan letakan termometer pengukur suhu.

d. Pengujian Kehilangan Berat

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengurangan berat akibat penguapan unsur-unsur aspal yang mudah menguap dalam aspal. Apabila aspal dipanaskan didalam oven pada suhu 163 °C dalam waktu 4,5 – 5 jam, maka akan terjadi reaksi terhadap unsur-unsur pada aspal, sehingga dimungkinkan sifat aspal akan berubah, ini tidak diharapkan pada lapis perkerasan lentur dengan menggunakan aspal, untuk itu dipersyaratkan kehilangan berat aspal maksimum adalah 0,8 % dari berat semula.

e. Pengujian Daktilitas Aspal

Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk mengetahui sifat kohesi dan plastisitas aspal, pengujian dilakukan dengan menarik pada cetakan yang berisi aspal sebelum putus pada suhu 25º C dengan kecepatan tarik 5cm/menit. Besarnya daktilitas aspal penetrasi 60/70 disyaratkan minimal 100 cm.

f. Pemeriksaan Kelarutan dalam Carbon Tetra Clorida (CCl4)

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan jumlah unsur aspal dalam CCl4, dengan adanya bahan – bahan tidak terlarut dalam CCl4 menunjukkan adanya bahan lain yang terlarut dalam residu aspal. Syarat yang diinginkan dalam penggunaan aspal adalah aspal tidak boleh tercampur dengan bahan lain yang tidak larut dalam CCl4, untuk aspal 60/70 penetrasinya minimal 99%.

g. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

Kepadatan aspal adalah perbandingan berat aspal dengan berat air suling

dengan volume yang sama. Persyaratan peraturan untuk kepadatan aspal adalah 1 gr/cc.

h. Pemeriksaan Viskositas

Viskositas atau kekentalan. Kadar aspal yang digunakan tergantung pada kekentalannya. Viskositas aspal sangat bervariasi terhadap temperatur, dari padat hingga cair. Kekentalan dinyatakan dalam satuan Pa detik atau poises (1 poise = 0,1 Pa detik). Viskositas kinematik dinyatakan dalam satuan cm2/detik dan stokes atau centistokes (1 stokes = 100 centistokes = 1cm2/detik).

Tabel 2.1 Pengujian dan Persyaratan Aspal Keras Pen. 60/70

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I	Tipe II
			Aspal Pen.60-70	Aspal Modifikasi Elastomer
1	Penetrasi pada 25°C (0,1mm)	SNI 2456-2011	60-70	Min.40
2	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥48	≥ 54
3	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥100	≥100
4	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥232	≥232
5	Kelarutan dalam *Trichloroethylene* (%)	AASHTO T44-03	≥99	≥99
6	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥1,0	≥1,0
7	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤0,8	≤0,8
8	Viskositas Kinematis 135 °C (cSt)	SNI 06-6441-2000	≥300	≤ 3000

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018 Divisi 6.3

2.4. Tempurung Kelapa

Limbah tempurung kelapa diolah menjadi abu dan berfungsi sebagai bahan pengisi *(filler)* pada campuran aspal dapat meningkatkan kekuatan serta keawetan pada perkerasan jalan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kuat tekan aspal menggunakan *Marshall Test* dengan komposisi campuran kadar *Filler* sebesar 0%, 0,5%, 1%, 1,5% dan 2% berdasarkan total campuran.

2.5. Abu Cangkang Sawit

Abu cangkang sawit dapat digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) dalam campuran aspal, terutama untuk menggantikan abu batu atau bahan pengisi lainnya yang jumlahnya terbatas atau harganya mahal. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan abu cangkang sawit dapat meningkatkan stabilitas campuran aspal dan mengurangi penggunaan aspal.

Penjelasan Lebih Detail:

- Sebagai *Filler*:

Abu cangkang sawit, yang merupakan limbah dari pengolahan kelapa sawit, memiliki potensi untuk digunakan sebagai *filler* dalam campuran aspal.

- Kelebihan:

Penggunaan abu cangkang sawit sebagai *filler* dapat mengurangi ketergantungan pada bahan pengisi konvensional seperti abu batu, yang sumbernya terbatas dan harganya bisa mahal. Selain itu, penambahan abu cangkang sawit dapat meningkatkan stabilitas campuran aspal, artinya jalan akan lebih tahan terhadap beban dan gangguan.

2.6. Agregat

Agregat adalah kumpulan partikel batu pecah, pasir, kerikil atau mineral lainnya, baik alami maupun buatan (Heru, 2024). Fungsi agregat dalam campuran aspal adalah sebagai kerangka yang memberikan kestabilan pada campuran jika digunakan dengan alat pemadat yang sesuai. Agregat merupakan komponen utama atau kerangka dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90% – 95% agregat berdasarkan persentase berat 75% – 85% agregat berdasarkan persentase volume. Beton Aspal Campuran Panas). Agregat terbagi menjadi dua yaitu:

1. Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan salah satu campuran aspal, dikatakan agregat kasar apabila agregat tersebut tertahan pada saringan No.4 atau 4,75 mm. Agregat kasar yang digunakan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan seperti pada Tabel.

Tabel 2.2. (Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 1, 2018).

Pengujian			Metode	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan		Natrium Sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12%
		Magnesium Sulfat		Maks. 18%
Abrasi dengan mesin Los	Campuran AC, Modifikasi, dan	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 6%
		500 putaran		Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal	100 putaran		Maks. 8%
		500 putaran		Maks 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal			SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir pecah terhadap agregat kasar			SNI 7619:2012	95/90
Partikel pipih dan lonjong			ASTM D4791-10 Perbandingan 1:5	Maks. 10%
Material lolos ayakan No. 200			SNI STM C117:201	Maks. 2%

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Revisi 1

2. Agregat Halus

Agregat halus didefinisikan sebagai agregat yang terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah yang lolos saringan no.4 atau 4,75 mm (Bina Marga,2018). Agregat halus mempunyai fungsi untuk memperkuat ikatan antar agregat sehingga mengurangi rongga-rongga pada struktur perkerasan. Agregat halus yang digunakan harus bersih dan bebas dari tanah liat atau bahan lain yang tidak diinginkan. Oleh karena itu, bahan baku pembuatan agregat halus harus dicuci terlebih dahulu secara mekanis sebelum dimasukkan ke dalam stone crusher. Agregat halus yang digunakan juga harus memenuhi ketentuan dalam tabel.

Tabel 2.3. Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nil	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Angularitas dengan uji kadar rongga tanpa pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan lempung dan butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Material lolos ayakan No. 200	SNI C117:2012 ASTM	Maks.10%

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Revisi 1

Tabel 2.4. (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018).

No. Saringan	Ukuran ayakan (mm)	Kumulatif berat lolos terhadap total Agregat	
		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

3. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi (*filler*) merupakan material yang berukuran lebih kecil dari agregat halus yang lolos saringan no.200 atau 0,075 mikron dan tidak kurang dari 75% terhadap beratnya. Bahan pengisi yang dapat digunakan pada campuran aspal dapat berupa debu batu kapur, debu kapur padam, debu kapur magnesium, dolomit, semen atau abu terbang. Secara khusus, bahan pengisi jenis semen hanya dapat digunakan pada campuran aspal panas dengan bahan pengikat aspal keras jenis pena 60 hingga 70. Semua bahan pengisi yang ditambahkan ke dalam campuran harus kering dan bebas gumpalan.

2.7. Lapis Aspal Beton (*Asphalt Concerate*)

Lapisan aspal beton atau AC merupakan suatu lapisan permukaan yang di dalamnya terdapat campuran aspal keras dan agregat bergradasi menerus, dicampur, dihampar dan dipadatkan pada keadaan panas dengan suhu tertentu. Aspal AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) adalah salah satu jenis campuran aspal yang digunakan dalam pembangunan jalan. Aspal AC WC adalah lapisan aspal paling atas dari struktur jalan yang bertujuan untuk memberikan permukaan jalan yang kuat, halus, dan tahan lama. Dengan karakteristik khususnya, aspal AC-WC memainkan peran penting dalam memastikan infrastruktur jalan yang berkualitas dan aman bagi pengguna jalan. Karakteristik utama dari laston adalah memiliki stabilitas yang tinggi. Adapun tebal untuk lapisan laston menurut Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Divisi 6 Revisi 1 adalah sebagai berikut:

a. Laston lapis aus (AC-WC) tebal minimumnya 4 cm.
b. Laston lapis antara (AC-BC) tebal minimumnya 6 cm.
c. Laston lapis pondasi (AC- Base) tebal minimumnya 7,5 cm.

Laston (AC) yang dimana sebagai lapis permukaan perkerasan jalan, harus memiliki nilai struktur, tahan air, dan mempunyai stabilitas tinggi. Adapun sifat-sifat campuran beraspal panas sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 1 untuk Lapis tipis aspal beton (AC) bergradasi gabungan dapat dilihat pada Tabel.

Tabel 2.5. Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC) aspal karet

Sifat-sifat Campuran		Laston (AC)		
		WC	BC	Base
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.	0.6		
	Maks.	1.4		
Rongga dalam campuran (VIM) (%)	Min.	3.0		
	Maks.	5.0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga terisi aspal (VFA) (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas *Marshall* (kg)	Min.	900		1800
Pelelehan (mm)	Min.	2		3
	Maks.	5		6
Stabilitas *Marshall* Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60ºC	Min.	90		

Sumber : pedoman aspal karet. No 04/SE/M/2019

2.8. *Design Mix Formula* (DMF)

Kadar aspal pada campuran aspal sangat mempengaruhi desain bahan perkerasan lentur. Selain menentukan koefisien kekuatan suatu perkerasan, kadar aspal juga berperan penting dalam menentukan harga satuan bahan campuran. Setelah diperoleh perkiraan kandungan aspalten yang optimal, maka ditentukan kandungan aspalten yang diharapkan untuk pembuatan benda uji.

2.9. *Job Mix Formula* (JMF)

Komposisi campuran agregat pada perencanaan campuran diperoleh dengan menggunakan rumus *Work Mix*. Untuk merencanakan kombinasi yang tepat, dilakukan perhitungan numerik dengan menggunakan sistem persamaan linier khususnya Gauss Jordan, yang dapat menghitung lebih dari 2 variabel.

2.10. Pengujian *Marshall*

Dalam pengujian metode *Marshall* sering digunakan beberapa contoh uji campuran aspal dengan kandungan aspalten yang berbeda. Dengan mengevaluasi hasil setiap sampel uji, dapat diperoleh kandungan aspalten (KAO) yang optimal. Agar konsep ini berhasil, kadar aspal yang digunakan harus lebih rendah dan lebih tinggi dari perkiraan kadar aspal optimal (KAO). DMF akan menghitung perkiraan kandungan aspal. Estimasi kadar aspal optimal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

Pb = 0,35 (%CA)+0,045(%FA)+0,18(%FF)+K …….…. (2.1)

Dimana:

Pb : Perkiraan kadar aspal optimum.

CA : Nilai presentase agregat kasar (% terhadap agregat tertahan saringan no.8)

FA = Nilai presentase agregat halus (% no.8 terhadap tertahan saringan no.200)

FF : Nilai presentase *Filler* (bila perlu)

K : konstanta (asumsi 0,5 - 1,0) untuk Laston Hasil perhitungan Pb dibulatkan ke 0,5% ke atas terdekat.

Uji *Marshall* merupakan suatu metode pengujian untuk mengukur kestabilan dan kinerja plastis campuran aspal dengan menggunakan instrumen *Marshall*. Pertama kali pengujian harus dilakukan untuk meyakini bahwa :

1. Kualitas bahan yang digunakan harus memenuhi syarat spesifikasi.
2. Kombinasi campuran agregat memenuhi persyaratan spesifikasi gradasi.

Kedua persyaratan di atas merupakan persyaratan yang telah ditetapkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum berdasarkan Petunjuk Pembangunan Perkerasan Aspal Beton untuk Jalan Raya. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui ketahanan (stabilitas) terhadap leleh (aliran) lapisan. Pada dasarnya untuk mengetahui kinerja campuran aspal yang digunakan pada campuran aspal yang digunakan pada struktur perkerasan khususnya menggunakan alat *Marshall*.

Pengujian dari hasil tersebut antara lain :

1. Stabilitas (*stability)*
2. Kelelehan (*flow)*
3. Ronggan dalam agregat (VMA)
4. Rongga dalam campuran (VIM)
5. Volume pori beton aspal yang terisi oleh aspal (VFA)
6. *Marshall Quotien* (MQ)

2.11. Stabilitas (*stability)*

Stabilitas adalah beban yang dapat ditahan oleh campuran aspal hingga timbul elastisitas plastis, atau dengan kata lain kemampuan lapisan keras menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja padanya tanpa mengalami perubahan bentuk yang permanen seperti gelombang dan alur. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh bentuk, kualitas, tekstur permukaan dan ukuran partikel yaitu gesekan antar partikel agregat dan pengotoran antar agregat, kekuatan rekat dan kandungan aspal dalam campuran. Nilai stabil minimum yang dibutuhkan adalah 800 kg.

Penggunaan aspal pada suatu campuran akan menentukan nilai kestabilan campuran tersebut. Apabila ditambahkan aspal maka nilai kestabilan akan meningkat hingga batas maksimal. Nilai stabilitas benda yang diuji diperoleh dari pembacaan stabilitas meter pada saat pengujian *Marshall*. Hasil ini dibandingkan dengan angka kalibrasi cincin uji dalam pon atau kilogram dan harus selalu dikoreksi menggunakan faktor koreksi yang dipengaruhi oleh ketebalan benda yang diuji. Nilai stabilitas sebenarnya diperoleh dengan menggunakan rumus di bawah ini :

S = p x q .....(2.2)

Keterangan :

S = angka stabilitas sesungguhnya

P = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

q = angka koreksi benda uji

2.12. Kelelehan (*flow)*

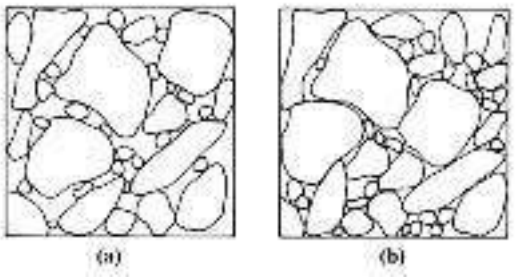
Flow Aliran merupakan derajat reduksi atau deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga menyebabkan kestabilan menurun, hal ini menunjukkan derajat deformasi yang terjadi pada lapisan perkerasan akibat gaya yang berlawanan dengan beban yang diterima. Deformasi yang terjadi erat kaitannya dengan sifat *Marshall* lainnya seperti stabilitas. VIM dan VFA, nilai VIM yang tinggi menyebabkan berkurangnya kekuatan penguncian komposit dan dapat menyebabkan deformasi. Nilai VFA yang berlebihan juga menyebabkan aspal pada campuran berubah konsistensinya menjadi pelumas dari batuan satu ke batuan lainnya.

Nilai aliran dipengaruhi oleh kandungan aspal dan viskositas, ukuran partikel, jumlah pemadatan dan suhu. Namun campuran dengan indeks kelelahan rendah dan stabilitas tinggi cenderung menjadi keras dan rapuh. Pada saat yang sama, campuran dengan tingkat kelelahan tinggi dan stabilitas rendah cenderung bersifat plastis dan mudah berubah bentuk ketika terkena beban lalu lintas. Kepadatan pencampuran yang baik, aspal yang cukup dan stabilitas yang baik akan berdampak pada penurunan nilai aliran. Nilai aliran yang dibutuhkan adalah 2.0-4.0 mm. Nilai *flow* yang rendah akan menyebabkan campuran menjadi lebih kaku sehingga lapis perkerasan menjadi mudah retak, sedangkan campuran dengan nilai *flow* tinggi akan menghasilkan lapis perkerasan yang plastis sehingga perkerasan akan mudah mengalami perubahan bentuk gelombang (*wash boarding*) dan alur (*rutting*).

2.13. Rongga Dalam Agregat (VMA)

Void In Mineral Agregate (VMA) merupakan rongga udara antar butir agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif, yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume. Banyaknya rongga udara mempengaruhi kinerja campuran karena jika VMA terlalu kecil maka campuran akan mengalami masalah keawetan dan jika VMA terlalu besar maka campuran akan mengalami masalah kestabilan dan efektifitas produksi yang buruk. Nilai VMA dipengaruhi oleh faktor pemadatan, khususnya jumlah dan suhu pemadatan, ukuran partikel dan kadar

aspal. Nilai VMA ini mempengaruhi ketahanan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastisnya. Dapat juga dikatakan bahwa nilai VMA menentukan nilai stabilitas, fleksibilitas dan daya tahan. Nilai VMA yang dibutuhkan adalah 15%.

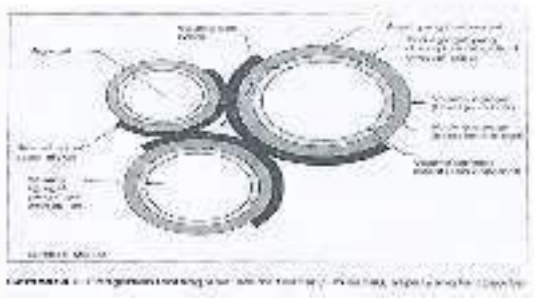


Gambar 2.1: Ilustrasi Pengertian VMA perbedaan rongga antara A dan B

2.14. Ronga Dalam Campuran (VIM)

Void dalam campuran (VIM) adalah persentase rongga dalam total campuran. Nilai VIM mempengaruhi keawetan lapisan perkerasan jalan. Semakin tinggi nilai VIM maka semakin besar pula porositas pada campuran sehingga campuran dapat dituang. Hal ini menyebabkan kepadatan campuran menjadi berkurang sehingga air dan udara lebih mudah menembus rongga-rongga pada campuran sehingga mengakibatkan aspal lebih rentan terhadap oksidasi. Air akan melarutkan komponenkomponen yang akan teroksidasi sehingga mengakibatkan terus berkurangnya kadar aspal dalam campuran. Berkurangnya kadar aspal dalam campuran menyebabkan berkurangnya daya rekat antar partikel agregat, sehingga mengakibatkan partikel terkelupas (*sloughing*) dan terkelupasnya permukaan (*stripping*) lapisan perkerasan. Persyaratan nilai VIM adalah 3% hingga 5%. Nilai VIM yang terlalu rendah akan menyebabkan terjadinya pendarahan karena pada suhu tinggi viskositas aspal menurun tergantung sifat termoplastiknya. Pada saat itu, jika lapisan perkerasan terkena beban lalu lintas, maka aspal akan terdorong keluar dari permukaan karena tidak tersedia cukup ruang bagi aspal untuk menembus lapisan perkerasan. Nilai VIM yang lebih besar dari 5% akan menurunkan ketahanan lapisan perkerasan, karena pori-pori yang terlalu besar akan

mudah menyebabkan oksidasi. VIM adalah persentase rongga udara dibandingkan dengan volume total campuran setelah kompresi. Nilai VIM akan semakin rendah jika kadar aspal semakin tinggi. VIM yang semakin tinggi akan menyebabkan kelelahan yang lebih cepat, berupa alur dan retakan.

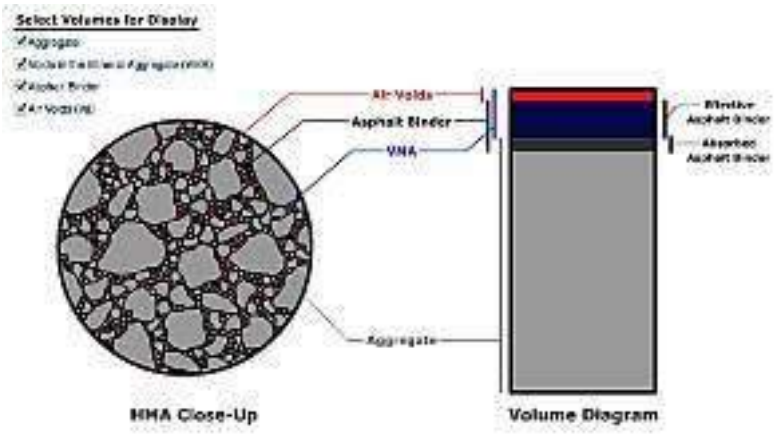


Gambar 2.2 : Ilustrasi Pengertian VIM

2.15. Void Filled With Asphalt (VFA)

Void Filled With Asphalt (VFA) merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Nilai VFA dipengaruhi oleh faktor pemadatan, khususnya jumlah dan suhu pemadatan, ukuran partikel dan kadar aspal. Nilai VFA mempengaruhi ketahanan campuran terhadap air dan udara serta elastisitasnya. Dengan kata lain, VFA menentukan stabilitas, fleksibilitas dan daya tahan. Semakin tinggi nilai VFA maka semakin banyak pula rongga-rongga pada campuran yang terisi aspal, sehingga ketahanan campuran terhadap air dan udara juga akan semakin tinggi. Selalu diasumsikan bahwa VFA yang terlalu tinggi akan menyebabkan terjadinya pendarahan. Nilai VFA yang terlalu rendah akan membuat campuran menjadi kurang permeabel terhadap air dan udara karena membran aspal akan menjadi tipis dan mudah retak jika diberi beban tambahan, sehingga campuran aspal akan mudah teroksidasi sehingga akhirnya menyebabkan kerusakan pada permukaan jalan. kelas tidak bertahan lama. Nilai VFA minimal yang disyaratkan adalah 65%. Nilai ini mewakili persentase rongga campuran yang mengandung aspal. Nilai tersebut akan meningkat seiring dengan meningkatnya

kadar aspal hingga batas tertentu, dimana pori-pori sudah penuh. Artinya rongga-rongga pada campuran telah terisi seluruhnya dengan aspal, sehingga proporsi aspal yang mengisi rongga-rongga tersebut merupakan persentase dari kadar aspal maksimum.



Gambar 2.3: Ilustrasi Pengertian VFA

2.16. *Marshall Quotien* (MQ)

Marshall Quotien adalah hasil bagi antara stabilitas dan aliran. Nilai *Marshall Quotient* akan memberikan nilai fleksibilitas yang beragam. Semakin tinggi nilai *Marshall Quotient*, semakin kaku campurannya; Sebaliknya jika nilainya lebih rendah maka campuran akan lebih fleksibel. Nilai hasil bagi *Marshall* dipengaruhi oleh nilai stabilitas dan aliran. Nilai *Marshall Quotient* yang dibutuhkan lebih besar dari 250 kg/mm. Nilai *Marshall Quotient* yang kurang dari 250 kg/mm menyebabkan perkerasan rentan terhadap erosi, alur dan pendarahan, sedangkan nilai *Marshall Quotient* yang tinggi menyebabkan perkerasan menjadi keras dan rawan retak akibat erosi. Nilai *Marshall Quotient (MQ)* dihitung menggunakan rumus di bawah ini::

MQ = S / F

Keterangan :

S = Nilai stabilitas

F = Nilai *flow*

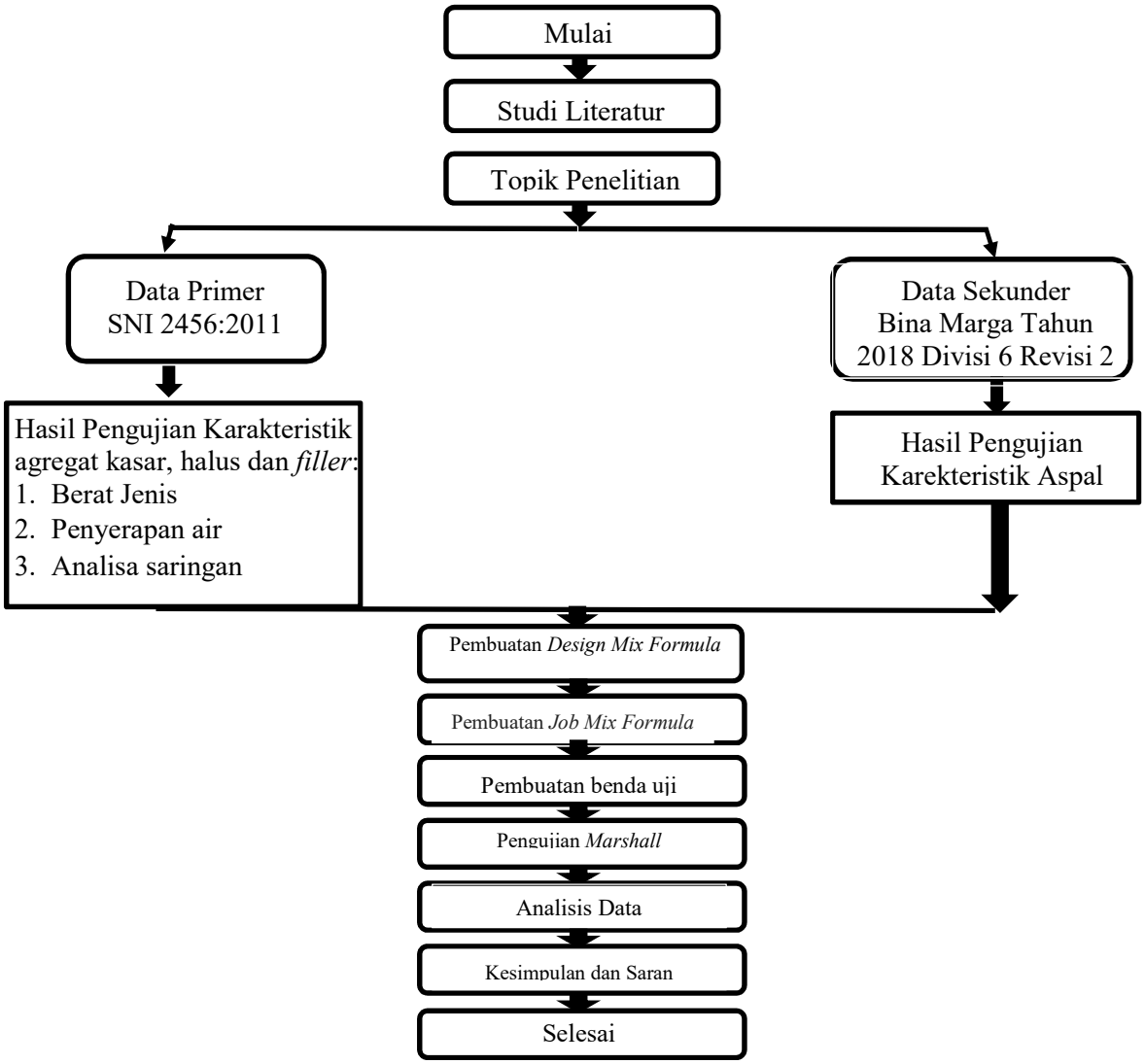
MQ = Nilai *Marshall Quotient* (kg/mm)

Setelah dilakukan analisa uji *Marshall* dan diperoleh nilai karakteristik *Marshall*, maka dibuatlah grafik hubungan antara kadar aspalten dengan nilai karakteristik tersebut. Berdasarkan grafik dan perbandingan dengan spesifikasi teknis yang dibutuhkan Bina Marga maka akan ditentukan kadar campuran aspal yang optimal.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian dilakukan dengan cara metode eksperimental di laboratorium yang berlokasi di .Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan Fakulatas Teknik IBA, Adapun alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Gambar alur penelitian

3.2. Studi Literatur

Studi literatur digunakan untuk mempelajari literatur yang dapat memberikan informasi terkait dengan subjek yang diteliti yaitu mengenai penggunaan abu tempurung kelapa dan abu cangkang sawit sebagai bahan campuran beraspal.

3.3. Topik Penelitian

Setelah melihat hasil dari studi literatur yang ada maka dapat diambil suatu topik penelitian skripsi yang menggunakan abu cangkang sawit dan abu tempurung kelapa sebagai pengganti *filler*. Pada tahapan ini muncul penentuan judul skripsi yang akan dibuat.

3.4. Alat dan Bahan

Sebelum memulai penelitian hal yang harus dipersiapkan adalah peralatan. Peralatan ini berguna untuk menunjang kebutuhan untuk penelitian. peralatan yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah sebagai berikut :

1. Peralatan pengujian agregat
   a. Alat uji analisa saringan,
   b. Alat uji berat jenis agregat dan penyerapan air,

Gambar 3.2 Alat Uji Analisa Saringan dan Berat Jenis Agregat
(*Sumber* : Laboratorium Universitas IBA)

2. Peralatan pengujian *Marshall*
   a. Alat uji *Marshall*,
   b. Mesin pemadat benda uji, (*Asphalt Compactor*)
   c. Alat untuk mengeluarkan benda uji, (Dongkrak)
   d. Termometer
   e. Timbangan
   f. *Waterbath*
   g. *Mould*

Gambar 3.3 Alat uji *Marshall*
(*Sumber :* Laboratorium Universitas IBA)

Gambar 3.4 Mesin *Asphalt Compactor*
(*Sumber :* Laboratorium Universitas IBA)

Gambar 3.5 Alat untuk pengeluaran benda uji
(*Sumber* : Laboratorium Universitas IBA)

Gambar 3.6. Alat Termometer
(*Sumber* : Laboratorium Universitas IBA)

Gambar 3.7 *Mould*

Gambar 3.8. Timbangan digital

(*Sumber* : Laboratorium Universitas IBA)

Gambar 3.9 *Waterbath*
(*Sumber* : Laboratorium Universitas IBA)

1) Aspal penetrasi 60/70 dari PT Aspal Bangun Sarana Kota Palembang.
2) Abu Cangkang Sawit berasal dari Grigy Indonesia Kota Medan
3) Abu Tempurung Kelapa diperoleh dari hasil furnace di Universitas Tridinanti
4) Agregat kasar berupa batu pecah yang diperoleh dari depot Musi Dua Kota Palembang.
5) Agregat halus menggunakan pasir sungai yang diperoleh dari depot Musi Dua Kota Palembang.
6) *Filler* menggunakan semen Portland yang lolos saringan No 200.(0,075mm).

Gambar 3.10. Aspal Penetrasi
(Sumber: Laboratorium Universitas IBA)

Gambar 3.11. *Furnace*
(Sumber: Laboratorium Universitas Tridinanti)

Gambar.3.12. Abu Cangkang Sawit

Gambar.3.13 Abu Cangkang Kelapa

(Sumber: Laboratorium Universitas IBA)

3.5. Pengujian Bahan Uji

Uji kelayakan material harus dilakukan untuk memastikan apakah material tersebut memenuhi kriteria dan spesifikasi yang telah ditentukan. Berikut adalah parameter pengujian yang dilakukan :

1. Pengujian Agregat

   Agregat terbagi menjadi agregat kasar dan agregat halus, yang dibedakan berdasarkan ukuran saringan yang digunakan oleh standar yang digunakan untuk membuat agregat. Beberapa tes yang dilakukan di laboratorium termasuk:

   a. Analisa saringan bertujuan untuk memperoleh suatu distribusi (ukuran agregat) dalam bentuk grafik yang dapat memperlihatkan pembagian butir (gradasi).
   b. Berat jenis dan penyerapan air bertujuan untuk menentukan berat jenis kering (*bulk)* berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu, dan penyerapan air agregat.

2. Pengujian Aspal

   Kepadatan aspal sangat bergantung pada nilai penetrasi dan suhu aspal (Ayzadt et al., 2024). Didefinisikan sebagai perbandingan antara berat aspal dengan air sulingan dengan kandungan yang sama pada suhu tertentu atau penggantian berat air dengan aspal dalam wadah yang sama.

3. Pengujian *Filler*

   Pengujian ini meliputi pengujian berat jenis *filler* semen.

3.6. Design Mix Formula (DMF)

Design Mix Formula (DMF) dilakukan untuk mendapatkan presentase kadar aspal rencana (Pb) dalam pembuatan sampel *Marshall*. Perhitungan kadar aspal rencana menggunakan rumus yang telah ditentukan oleh standar Bina Marga dengan batasan yang telah ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Divisi 6 Revisi 2. Untuk rentang kadar aspal rencana dilakukan sebanyak 5 interval yaitu (Pb – 1%), (Pb – 0,5%), Pb, (Pb + 0,5%) dan (Pb + 1,0%) yang dihitung dengan persamaan:

$$P = 0{,}035(\%\ CA) + 0{,}045(\%\ FA) + 0{,}18(\%\ filler) + K \quad (1)$$

Dimana:
Pb = Kadar aspal rencana, persen terhadap berat campuran
CA = Agregat kasar, persen agregat tertahan saringan no. 8
FA = Agregat halus, persen agregat lolos saringan no. 8 dan tertahan saringan no. 200
FF = Agregat lolos ayakan no. 200
K = Konstanta (nilai K sekitar 0,5 sampai 1,0 untuk AC)

3.7. Job Mix Formula (JMF)

Job Mix Formula (JMF) dilakukan untuk mendapatkan komposisi campuran agregat yang mengacu pada gradasi AC-WC Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Divisi 6 Revisi 2.

Tabel 3.1. Gradasi AC-WC

Ayakan Ukuran		Rencana	Persyaratan
ASTM	(mm)		
$1\frac{1}{2}$,,	37,5		
1”	25		
$\frac{3}{4}$,,	19	100	100
$\frac{1}{2}$,,	12,5	90,10	90-100
$\frac{3}{8}$,,	9,5	80,84	77-90
No.4	4,75	64,57	53-69
No.8	2,36	48,89	33-53
No.16	1,18	35,12	21-40
No.30	0,600	22,67	14-30
No.50	0,300	15,33	9-22
No.100	0,150	7,85	6-15
No.200	0,075	4,34	4-9

3.8. Pembuatan Benda Uji

Setelah diperoleh hasil komposisi Design Mixture Formula (DMF) dan Job Mixture Formula (JMF), maka fabrikasi benda uji dilakukan dalam tiga tahap. Pertama-tama, bahan harus disiapkan sesuai komposisi yang dihitung; Selanjutnya agregat, aspal dan *filler* dicampur hingga membentuk komposisi yang dihitung.

Tabel 3.2. Jumlah dan variasi sampel *Marshall*

Nama Sampel	% *Filler*	% Pengganti *Filler*		Jumlah Sampel Benda Uji
		Abu Cangkang Sawit	Abu Tempurung Kelapa	
Normal	100 %	0 %	0 %	15
ACS	50 %	50%	0 %	15
ATK	50 %	0 %	50 %	15

Ket: ACS = Abu Cangkang Sawit
ATK = Abu Tempurung Kelapa

3.9. Pengujian *Marshall*

Pengujian *Marshall* dilakukan menggunakan alat tekan *Marshall Test.* Pengujian *Marshall* bertujuan untuk mendapatkan parameter-parameter yaitu *Stability, Flow, Marshall Quotient* (MQ), *Void in Mixture* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA) dan *Void Filled with Asphalt* (VFA) yang nantinya akan dapat ditentukan besarnya kadar aspal optimum (KAO). Besarnya kadar aspal optimum ditentukan dari batas spesifikasi campuran aspal AC-WC menurut Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Divisi 6 Revisi 2 (Dirjen Bina Marga, 2020).

Tabel 3.3. Batas spesifikasi campuran AC-WC

Sifat Campuran	Satuan	Batas Nilai
Rongga dalam campuran (VIM)	%	3 – 5
Rongga dalam agregat (VMA)	%	Minimal 15
Rongga terisi aspal (VFA)	%	Minimal 65
Stabilitas, perendaman 30 menit	kg	800
Pelelehan (*flow*)	mm	2 - 4

Sumber : Bina Marga Tahun 2018 Divisi 6 Revisi 2.

3.10. Analisa data

Analisa data yang dilakukan untuk melihat pengaruh bagaimana penggunaan abu cangkang sawit dan abu tempurung kelapa sebagai pengganti *filler* dalam campuran AC-WC. Analisis yang dilakukan dapat berupa :

1. Perhitungan besaran nilai VIM, VMA, VFA
2. Melakukan perhitungan MQ (*Marshall Quotient*)
3. Menganalisis hasil stabilitas dan *flow* dari pengujian *Marshall*
4. Menganalisis Karakteristik *Marshall* dengan menggunakan trend grafik

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini dibahas hasil pengujian laboratorium yang terdiri dari pengukuran sifat bahan yang digunakan dan analisa penggunaan abu cangkang sawit dan abu tempurung kelapa pada campuran AC-WC dengan metode *Marshall*.

4.1. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

4.1.1. Agregat Halus dan Agregat Kasar

Material yang digunakan dalam campuran beraspal ini yaitu terdiri atas agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar yang digunakan berupa batu pecah (3/8), screen 1-1 no 4 sedangkan untuk agregat halus menggunakan pasir sungai dan abu batu. *Filler* yang digunakan terdiri atas yang lolos saringan no. 200 yaitu *filler* semen. Pengujian agregat pada penelitian ini meliputi pengujian agregat kasar, agregat halus dan *filler.* Adapun hasil pengujian yang telah dilakukan dilaboratorium Bahan Perkerasan Jalan Universitas IBA ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut: Berdasarkan hasil dari Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 dibawah ini dapat dilihat bahwa hasil pengujian agregat kasar dan halus yang telah dilakukan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2.

4.1.2. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Tabel 4.1 merupakan hasil pengujian agregat kasar berupa Berat Jenis curah/kering, Berat Jenis kering permukaan (SSD), Berat Jenis Semu (apparent) dan Penyerapan air. Berdasarkan hasil pengujian agaregat batu pecah memiliki nilai jenis curah/kering sebesar 2,54 sedangkan agregat screem 1-1 sebesar 2,52.

4.1.3. Hasil Pengujian Agregat Halus

Tabel 4.2 merupakan hasil pengujian agregat halus berupa Berat Jenis curah/kering, Berat Jenis kering permukaan (SSD), Berat Jenis Semu (apparent)

dan Penyerapan air. Berdasarkan hasil pengujian agaregat Pasir Sungai memiliki nilai jenis curah/kering sebesar 2,54 sedangkan agregat Abu Batu sebesar 2,52.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Hasil Pengujian	Metode Pengujian	Hasil Pengujian	
			Batu Pecah	Screen 1-1
1	Berat Jenis curah/kering	SNI 1969:2016	2.54	2.52
2	Berat Jenis kering permukaan (SSD)	SNI 1969:2016	2.59	2.56
3	Berat jenis semu (apparent)	SNI 1969:2016	2.66	2.63
4	Penyerapan air (%)	SNI 1969:2016	1.70	1.63

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Hasil Pengujian	Metode Pengujian	Hasil Pengujian	
			Pasir Sungai	Abu Batu
1	Berat Jenis curah/kering	SNI 1970:2008	2.26	2.46
2	Berat Jenis kering permukaan (SSD)	SNI 1970:2008	2.35	2.51
3	Berat jenis semu (apparent)	SNI 1970:2008	2.48	2.60
4	Penyerapan air (%)	SNI 1970:2008	4.06	2.25
5	Material lolos ayakan No. 200 (%)	SNI 03-4142:1996	4.40	5.00

4.2. Hasil Pengujian Analisa Saringan

Berdasarkan hasil pengujian Analisa saringan untuk masing-masing agregat ditunjukkan pada tabel 4.3. data yang diperoleh yaitu berupa berat tertahan saringan dimana akan dihitung terhadap persen berat yang lolos saringan, selanjutnya juga dihitung persentase lolos kumulatif setiap saringan.

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat

No. Saringan	Ukuran (mm)	Lolos Kumulatif (%)			
		Batu Pecah	Screen 1-1	Pasir Sungai	Abu Batu
1/2"	12.5	100.00	98.3	100.00	100.00
3/8"	9.5	46.5	83.1	100.00	100.00
No.4	4.75	9.3	24.9	100.00	98.5
No.8	2.36	0.5	1.9	98.88	83.3
No.16	1.18	0	0	94.1	47.3
No.30	0.6	0	0	70.2	27.3
No.50	0.3	0	0	6.72	14.6
No.100	0.15	0	0	4.38	11.6
No.200	0.075	0	0	1.72	5.3
Pan	-	0.00	0.00	0	0.00

4.3. Hasil Pengujian Berat Jenis ACS dan ATK

Metode dalam pengujian berat jenis ACS dan ATK menggunakan metode SNI 1964-2008 dimana hasilnya adalah ACS sebesar 1.239 dan ATK sebesar 0.799, yang artinya berat jenis ATK ini lebih ringan dari pada berat jenis ACS.

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Berat Jenis Abu Cangkang Sawit (ACS)

Keterangan	Notasi	Pengujian 1	Pengujian 2
Berat pikno + sampel	W2	34.2	55.7
Berat pikno	W1	24.5	45.2
Berat sampel	Wt = W2-W1	9.7	10.5
Berat pikno+air+sampel	W3	125.8	148.8
Berat pikno+air	W4	123.9	146.8
	W5 = Wt + W4	133.6	157.3
Isi sampel	W5-W3	7.8	8.5
Berat jenis	Wt / (Wt+W4-W3)	1.244	1.235
Rata-Rata Berat Jenis		**1.239**	

Tabel 4.5. Hasil Pengujian Berat Jenis Abu Tempurung Kelapa (ATK)

Keterangan	Notasi	Pengujian 1	Pengujian 2
Berat pikno + sampel	W2	29.4	50.2
Berat pikno	W1	24.5	45.2
Berat sampel	Wt = W2-W1	4.9	5
Berat pikno+air+sampel	W3	122.8	145.4
Berat pikno+air	W4	123.9	146.8
	W5 = Wt + W4	128.8	151.8
Isi sampel	W5-W3	6	6.4
Berat jenis	Wt / (Wt+W4-W3)	0.817	0.781
Rata-Rata Berat Jenis		**0.799**	

4.4. Hasil Pengujian Aspal

Pengujian aspal yang dilakukan hanya 2 pengujian saja yaitu penetrasi aspal dan berat jenis aspal dimana pengujian yang lainnya tidak dilakukan karena keterbatasan alat. Pengujian penetrasi ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal yang digunakan sedangkan pengujian berat jenis dilakukan untuk membantu dalam perhitungan analisis *Marshall*.

Tabel 4.6. Hasil Pengujian Penetrasi Aspal

Pengamatan	Sampel yang di uji (satuan 0,1 mm)	
	Uji 1	Uji 2
1	61	60
2	62	57
3	58	62
4	63	64
5	59	61
Rata-rata	60.6	60.8
	60.7	

Tabel 4.6. merupakan hasil pengujian penetrasi aspal yang digunakan dimana mengacu pada SNI 2456:2011. Pengujian dilakukan sebanyak 3 sampel dimana untuk 1 sampel dilakukan pengujian sebanyak 5 kali. Untuk hasil penetrasi aspal yang digunakan diperoleh hasil rata-rata sebesar 60,7.

Tabel 4.7. Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal

Pengujian	Notasi	Hasil Pengujian	
		Uji 1	Uji 2
Massa piknometer + aspal	C	45.2	45.6
Massa piknometer kosong	A	33.2	33.2
Massa aspal	C – A	12	12.4
Massa piknometer + air	B	61.1	61.1
Massa piknometer kosong	A	33.2	33.2
Massa air	B – A	27.9	27.9
Massa piknometer + aspal + air	D	61.5	61.9
Massa piknometer + aspal	C	45.2	45.6
Massa air	D – C	16.3	16.3
Selisih massa air	(B - A) – (D - C)	11.6	11.6
Berat jenis	$\frac{C-A}{(B-A)-(D-C)}$	1.034	1.069
	Rata-rata	**1.038**	
Berat isi = berat jenis x W_T	W_T pada 25°C = 997.0 kg/m^3	1031.38 kg/m^3	1065.76 kg/m^3
Rata – rata Berat Jenis Aspal	1.052		
Rata – rata Berat Isi Aspal	1048.57 kg/ m^3		

Tabel 4.7. merupakan hasil pengujian berat jenis aspal yang mengacu pada SNI 24541:2011 dimana hasil pengujian dilakukan sebanyak 3 sampel dengan hasil rata-rata sebesar 1,052

4.5. Perancangan Campuran AC-WC

4.5.1 Penentuan Kadar Aspal Rencana (Pb)

Penentuan kadar aspal rencana dilakukan untuk menentukan proporsi kadar aspal yang akan digunakan untuk menentukan kadar optimum aspal dari hasil pengujian *Marshall*. Penentuan kadar aspal rencana diperoleh dari persentase agregat tertahan saringan No. 8 (CA), persentase agregat lolos saringan No. 8 dan tertahan saringan No. 200 (FA) dan persentase agregat lolos saringan No. 200 (FF) dimana ditunjukkan dengan rumus:

Pb = 0,035 (%CA) + 0,045 (%FA) +0,18 (%FF) + K

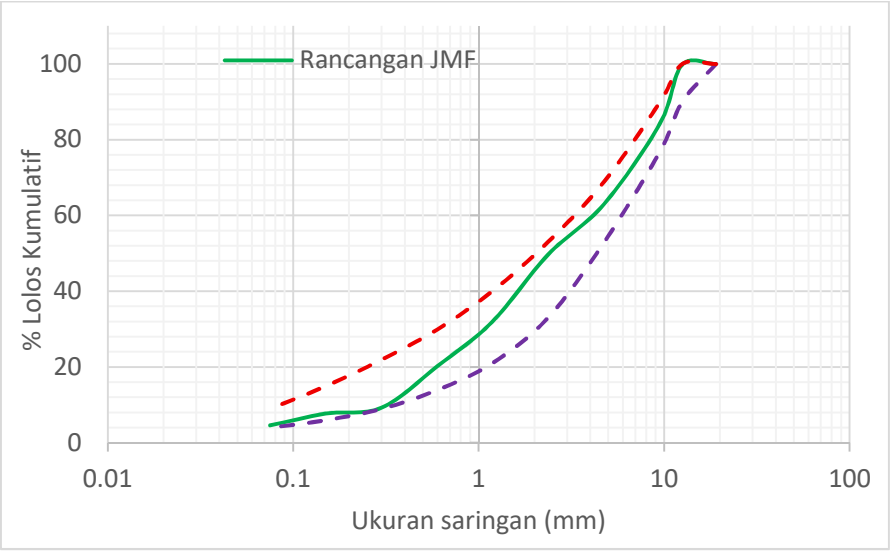
Tabel 4.8. Hasil perhitungan batas kadar aspal rencana

No. Ayakan	Batas Bawah AC-WC	Selisih Batas Bawah	Hasil Perhitungan Batas Bawah		Batas Atas AC-WC	Selisih Batas Atas	Hasil Perhitungan Batas Atas	
3/4"	100	0			100	0		
1/2"	90	10	CA	47	100	0	CA	31
3/8"	77	13			90	10		
No.4	53	24			69	21		
No.8	33	20			53	16		
No.16	21	12			40	13		
No.30	14	7	FA	49	30	10	FA	60
No.50	9	5			22	8		
No. 100	6	3			15	7		
No. 200	4	2			9	6		
Pan		4	FF	4		9	FF	9
			K	1			K	1
			Pb Minimal	5,57			Pb Maksimal	6,41
					Pb Tengah	5,99		

Tabel 4.8. menunjukkan penguraian cara penentuan kadar aspal rencana untuk campuran lapis aus (AC-WC) dimana batas atas dan bawah mengacu pada Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2. Dari hasil perhitungan tersebut diperoleh nilai Pb minimal sebesar 5,57% dan nilai Pb maksimal sebesar 6,41% sehingga untuk nilai Pb tengah sebesar 5,99% atau dibulatkan menjadi 6%. Dalam penentuan kadar aspal optimum dengan pengujian *Marshall* diperlukan rentang kadar aspal dengan batas bawah dan batas atas sebesar 0,5% sehingga dalam penelitian ini menggunakan kadar aspal sebesar 5%; 5,5%; 6,0%; 6,5% dan 7,0%.

4.5.2 Perancangan Job Mix Formula (JMF)

Campuran beraspal panas dalam penelitian ini menggunakan penggabungan material antara lain batu pecah, screen 1-1, pasir, abu batu dan *filler*. Pada masing-masing material memiliki komposisi tertentu yang diperoleh dari hasil perhitungan analitis matematika dengan syarat batas gradasi AC-WC. Berdasarkan hasil analisis matematis diperoleh bahwa komposisi batu pecah sebesar 25%, screen 1-1 sebesar 18%, pasir sebesar 8%, abu batu sebesar 47% dan *filler* sebesar 2% seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.7. , dimana sumber JMF ini berdasarkan peneliti sebelumnya Krisna, dkk (2024).



Gambar 4.1. Hasil JMF Campuran AC-WC

Tabel 4.9. Gradasi AC-WC

Ukuran Ayakan		Gradasi Asli (%) Lolos					
		Batu Pecah	Screen 1-1	Pasir	Abu Batu	*Filler* Semen	Gradasi AC WC
1/2"	12,5	100.00	98.3	100.00	100.00	100,00	95,00
3/8"	9,5	46.5	83.1	100.00	100.00	100,00	83,50
No.4	4,75	9.3	24.9	100.00	98.5	100,00	61,00
No.8	2,36	0.5	1.9	98.88	83.3	100,00	43,00
No.16	1,18	0	0	94.1	47.3	100,00	30,50
No.30	0,6	0	0	70.2	27.3	100,00	22,00
No.50	0,3	0	0	6.72	14.6	100,00	15,50
No. 100	0,15	0	0	4.38	11.6	100,00	10,50
No. 200	0,075	0	0	1.72	5.3	100,00	7,00

Tabel 4.10. Hasil Perhitungan JMF Campuran AC-WC yang diusulkan

Ayakan		% Berat Tertahan				
		Batu Pecah	Screen 1-1	Pasir	Abu batu	*Filler* Semen
No.	Ukuran (mm)	25%	18%	8%	47%	2%
3/4"	19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.5	0.00	3.12	0.00	0.00	0.00
3/8"	9.5	151.41	32.50	0.00	0.00	0.00
No.4	4.75	117.93	125.83	0.00	8.39	0.00
No.8	2.36	24.30	50.65	0.83	83.89	0.00
No.16	1.18	2.03	1.65	5.65	201.33	0.00
No.30	0.6	0.61	0.00	25.22	111.85	0.00
No.50	0.3	0.61	0.00	58.69	71.02	0.00
No. 100	0.15	0.00	0.00	1.97	16.78	0.00
No. 200	0.075	0.00	0.00	1.57	35.23	0.00
Pan	< 0.075	0.00	0.00	1.06	29.64	23.75
Total		296.88	213.75	95.00	558.13	23.75

4.6. Hasil Pengujian *Marshall* Sampel Normal

Hasil Pengujian *Marshall* untuk sampel Murni 50% dapat dilihat pada tabel 4.11. Untuk hasil kadar aspal 5%, 5,5%, 6 %, 6,5% dan 7% diperoleh bahwa nilai parameterVMA, VIM dan VFA tidak masuk dalam batas spesifikasi, sehingga kadar aspal tersebut tidak memenuhi nilai spesifikasi Bina Marga untuk sampel Normal, Untuk hasil kadar aspal 6% dan 6.50% diperoleh bahwa semua parameter masuk dalam spesifikasi Untuk sampel Normal, dan untuk hasil kadar aspal 7% diperoleh bahwa nilai parameter VIM tidak masuk dalam spesifikasi, sehingga kadar aspal tersebut tidak dapat dijadikan sebagai spesifikasi untuk sampel Normal.

Tabel 4.11. Hasil Rata-Rata Pengujian *Marshall* Sampel Normal

No.	Parameter	Satuan	Kadar Aspal Rencana					Spesifikasi/ Batas
			5%	5.50%	6%	6.50%	7%	
1	Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	%	14.60	15.27	15.32	15.26	15.62	Min 15
2	Rongga Dalam Campuran (VIM)	%	6.23	5.84	4.78	3.58	2.83	3.0 - 5.0
3	Rongga Terisi Aspal (VFA)	%	58.57	62.06	70.05	77.51	82.01	Min 65
4	Stabilitas	kg	1726.07	1766.45	2185.35	2205.54	2281.24	800
5	*Flow*	mm	1.17	1.17	2.27	2.67	3.30	2.0 - 4.0
6	*Marshall Quotient* (MQ)	kg/mm	1479.49	1514.10	964.13	827.08	691.29	-

4.7. Hasil Pengujian *Marshall* Sampel ACS 50%

Hasil Pengujian *Marshall* untuk sampel ACS 50% dapat dilihat pada tabel 4.12. Untuk hasil kadar aspal 5% dan 5,50% diperoleh bahwa nilai parameter VMA,VIM dan VFA tidak masuk dalam spesifikasi, sehingga kadar aspal tersebut tidak memenuhi batas spesifikasi untuk sampel ACS 50%, Untuk hasil kadar aspal 6% dan 6,50% diperoleh bahwa semua parameter masuk dalam spesifikasi, sehingga kadar aspal tersebut dapat masuk batas spesifikasi untuk sampel ACS 50%, dan untuk hasil kadar aspal 7% diperoleh bahwa nilai parameter *Flow* tidak masuk dalam spesifikasi, sehingga kadar aspal tersebut tidak dapat dijadikan sebagai spesifikasi untuk sampel ACS 50%.

Tabel 4.12 Hasil Rata-Rata Pengujian *Marshall* Sampel ACS 50%

No	Parameter	Satuan	Kadar Aspal Rencana					Spesifikasi/ Batas
			5%	5.50%	6%	6.50%	7%	
1	Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	%	14.45	14.88	15.29	16.23	16.91	Min 15
2	Rongga Dalam Campuran (VIM)	%	6.20	5.57	4.90	4.84	4.51	3.0 - 5.0
3	Rongga Terisi Aspal (VFA)	%	59.82	63.20	68.66	70.16	74.27	Min 65
4	Stabilitas	kg	1726.07	1832.06	1842.16	1705.89	1821.97	800
5	*Flow*	mm	2.30	2.70	3.00	3.57	4.37	2.0 - 4.0
6	*Marshall Quotient* (MQ)	kg/mm	750.47	678.54	614.05	390.66	510.83	-

4.8. Hasil Pengujian *Marshall* Sampel ATK 50%

Hasil Pengujian *Marshall* untuk sampel ATK 50% dapat dilihat pada tabel 4.13. Untuk hasil kadar aspal 5%, 5,50% dan 6% diperoleh bahwa VIM dan VFA tidak masuk dalam spesifikasi sehingga kadar aspal tersebut tidak memenuhi batas spesifikasi untuk sampel ATK 50%. Untuk hasil kadar aspal 6,50% dan 7% diperoleh bahwa semua parameter masuk dalam batas spesifikasi. Untuk hasil kadar aspal 6% diperoleh bahwa parameter *Flow* tidak masuk dalam spesifikasi, sehingga kadar aspal tersebut tidak memenuhi spesifikasi untuk sampel ATK 50%.

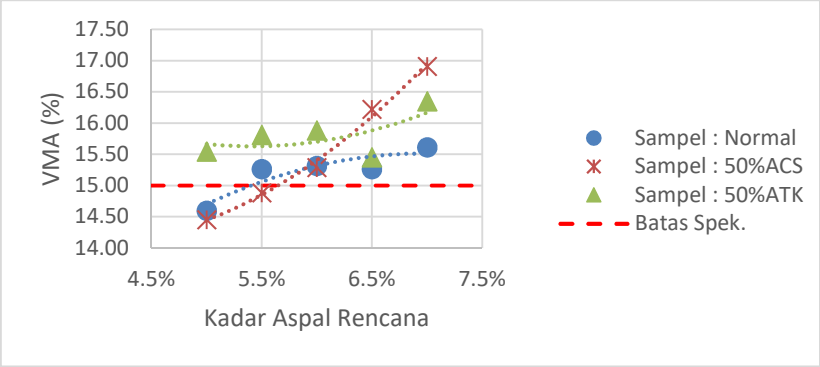
Tabel 4.13. Hasil Rata-Rata Pengujian *Marshall* Sampel ATK 50%

No.	Parameter	Satuan	Kadar Aspal Rencana					Spesifikasi/ Batas
			5%	5.50%	6%	6.50%	7%	
1	Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	%	15.55	15.81	15.89	15.46	16.35	Min 15
2	Rongga Dalam Campuran (VIM)	%	7.48	6.69	5.68	4.09	4.00	3.0 - 5.0
3	Rongga Terisi Aspal (VFA)	%	54.29	61.29	64.71	73.75	76.01	Min 65
4	Stabilitas	kg	1372.78	1100.25	1231.47	1428.30	1620.09	800
5	*Flow*	mm	2.07	2.30	1.97	2.77	2.30	2.0 - 4.0
6	*Marshall Quotient* (MQ)	kg/mm	664.25	478.37	626.17	516.25	704.39	-

4.9. Hasil Karakteristik *Marshall* Antar Sampel

4.9.1 Paramater VMA

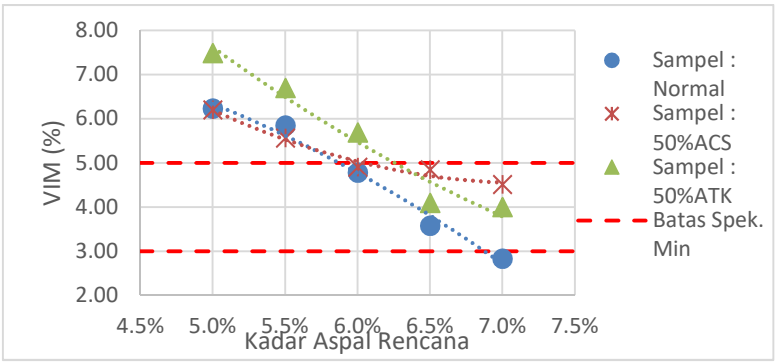
Berdasarkan hasil Karekteristik *Marshall* yaitu VMA menunjukkan nilai tertinggi VMA berada pada sampel Normal, ACS 50% dan ATK 50% dengan kadar aspal 5,0%. Untuk nilai VMA terendah berada pada sampel ACS dengan kadar aspal 5,0%. Hasil VMA yang diperoleh pada tiap sampel memenuhi batas spesifikasi yaitu minimal 15%.



Gambar 4.2. Grafik Karakteristik *Marshall VMA*

4.9.2 Parameter VIM

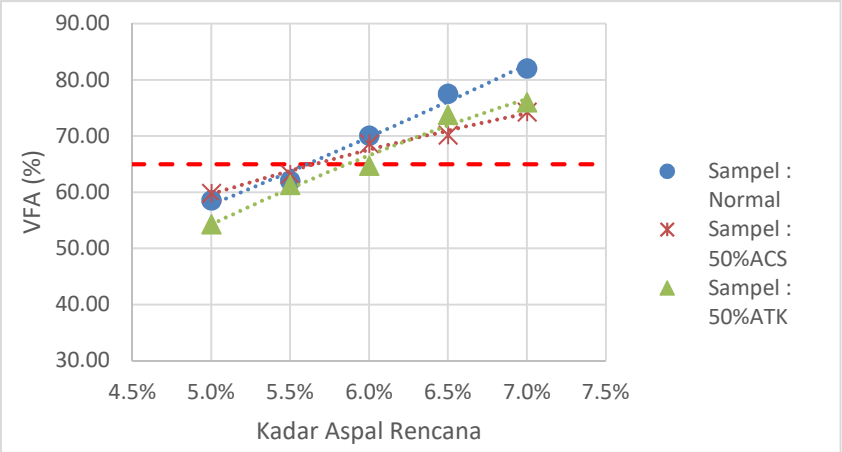
Berdasarkan hasil Karakteristik *Marshall* yaitu VIM menunjukkan nilai tertinggi VIM berada pada sampel Normal, ACS 50% dan ATK 50% dengan kadar aspal 5,0%. Untuk nilai VIM terendah berada pada sampel Normal dengan kadar aspal 7,0%. Hasil VIM yang diperoleh tiap sampel memenuhi batas spesifikasi yaitu 3%-5%.



Gambar 4.3. Grafik Karakteristik *Marshall VIM*.

4.9.3 Parameter VFA

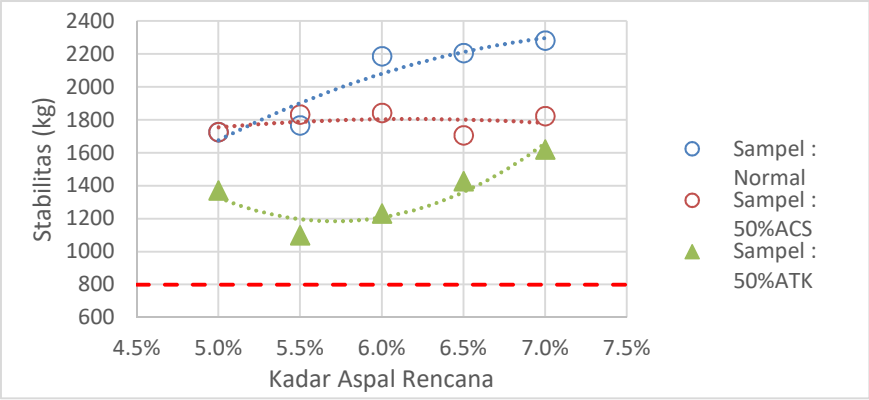
Berdasarkan hasil Karakteristik *Marshall* yaitu VFA menunjukkan nilai tertinggi VFA berada pada sampel Murni 50%, ACS 50% dan ATK 50% dengan kadar aspal 7,0%. Untuk nilai VFA terendah berada pada sampel ATK 50% dengan kadar aspal 5,0%. Hasil VFA yang diperoleh tiap sampel memenuhi batas spesifikasi yaitu 65%.



Gambar 4.4. Grafik Karakteristik *Marshall VFA*.

4.9.4 Parameter Stabilitas

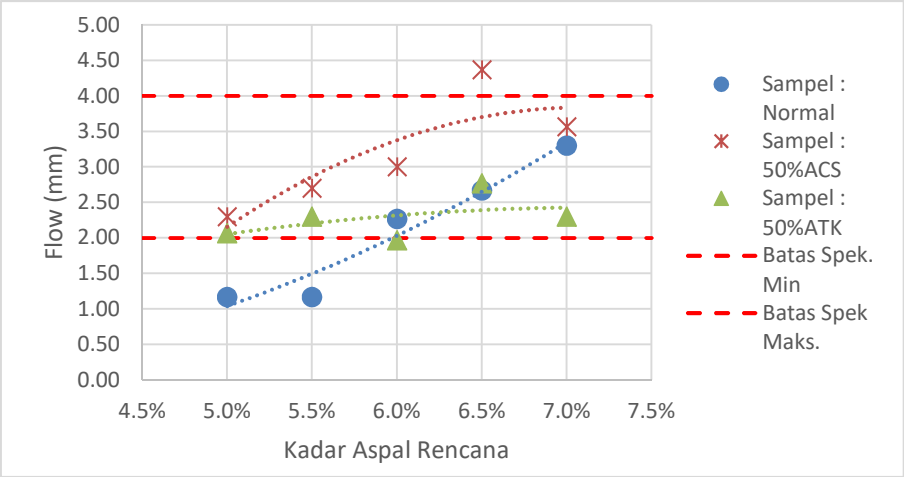
Berdasarkan hasil Karakteristik *Marshall* yaitu Stabilitas menunjukkan nilai Stabilitas berada pada sampel Normal, ACS 50% dan ATK 50% dengan kadar aspal 5,0%. Hasil Stabilitas yang diperoleh tiap sampel memenuhi batas spesifikasi dengan niliai batas minimum 800.



Gambar 4.5. Grafik Karakteristik *Marshall Stabilitas*.

4.9.5 Parameter *Flow*

Berdasarkan hasil Karakteristik *Marshall* yaitu nilai *Flow* menunjukkan nilai tertinggi *Flow* berada pada sampel Murni 50%, ACS 50% dan ATK 50% dengan kadar aspal 7,0%. Untuk nilai *Flow* terendah berada pada sampel Normal dengan kadar aspal 5,0%. Hasil nilai *Flow* yang diperoleh tiap sampel memenuhi batas spesifikasi dengan niliai batas 2,00 – 4,00.



Gambar 4.6. Grafik Karakteristik *Marshall Flow*.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan abu cangkang sawit sebagai pengganti *filler* mampu meningkatkan parameter *Marshall*. Hasil pengaruh penambahan abu cangkang sawit sebagai pengganti *filler* memenuhi persyarat pada kadar aspal 6% dengan komposisi yang paling spesifikasi dengan nilai VMA 15.29, VIM 4.90, VFA 68.66, Stabilitas 1842.16, *Flow* 3.00 dan *Marshall* Quotient (MQ) 614 dan kadar aspal 6,5% dengan komposisi yang paling spesifikasi dengan nilai VMA 16.23, VIM 4.84, VFA 70.16, Stabilitas 1705.89, *Flow* 3.57, *Marshall* Quotient (MQ) 390.66.
2. Dan hasil pengujian dari penggunaan abu tempurung kelapa hasil pengujian sebagai pengganti *filler* mampu meningkatkan parameter *Marshall*. Hasil pengaruh penambahan abu tempurung kelapa sebagai pengganti *filler* memenuhi persyarat pada kadar aspal 6.50% dengan komposisi yang paling spesifikasi dengan nilai VMA 15.46, VIM 4.09, VFA 73.75, Stabilitas 1428.30, *Flow* 2.77, *Marshall* Quotient (MQ) 516.25 dan kadar aspal 7% dengan komposisi yang paling spesifikasi dengan nilai VMA 16.35, VIM 4.00, VFA 76.01, Stabilitas 1620.09, *Flow* 2.30, *Marshall* Quotient (MQ) 704.39.

5.2. Saran

Adapun saran dari hasil penelitian ini yaitu:

1. Dalam penelitian ini menunjuan hasil stabilitas yang baik, saran dari penulis untuk pengujian selanjutya dengan kadar subtitusi lainnya untuk mengetahui hasil yang terbaik.

2. Perlu dilakukan pengujian selanjut nya dalam skala besar dan kondisi lapangan, untuk memverifikasi hasil penelitian ini.
3. Disarankan bagi peneliti selanjutnya untuk mengembangkan penelitian dengan variasi kadar campuran yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

Ayzadt, M., Nurdin, A., & Bahar, F. F. (2024). Analisis Kandungan Material Campuran Aspal Panas Mix Design AC-WC terhadap Rekonstruksi Jalan Ruas N-029.1 Bts. Kab. Muaro Jambi / Kab. Tanjabtim-Bts. Kab. Tanjabbar. *Jurnal Talenta Sipil*, *7*(2), 550. https://doi.org/10.33087/talentasipil.v7i2.517

Dirjen Bina Marga. (2020). *DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA SPESIFIKASI UMUM 2018*.

Elvira Putri, H. A., & Widayanti, A. (2023). Pengaruh Pemanfaatan Abu Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Pengisi (Filler) pada Campuran Aspal Lapis AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course). *Jurnal Media Publikasi Terapan Transportasi*, *1*(1), 107–119. https://doi.org/10.26740/MITRANS.V1N1.P107-119

Farida, I., Mulyana, S., Febis, D. T., & Nugraha, M. S. (2025). Pemanfaatan Limbah Abu Tempurung Kelapa sebagai Filler pada Campuran Aspal terhadap Stabilitas dan Kelelehan. *Jurnal Konstruksi*, *23*(1), 189–200. https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.23-1.1852

Gumelar, R., Susetyaningsih, A., & Zaman, M. B. (2023). Pengaruh Kerusakan Jalan Terhadap Kenyamanan Pengguna Jalan di Jalan Raya. *Jurnal Konstruksi*, *21*(2), 265–274. https://doi.org/10.33364/KONSTRUKSI/V.21-2.1416

Handoko, R., Hadijah, I., & Kurnawan, S. (2022). *ANALISIS PENGGUNAAN ABU CANGKANG KELAPA SAWIT SEBAGAI TAMBAHAN FILLER PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE BINDER COURSE BERDASARKAN PENGUJIAN MARSHALL*.

Heru, L. (2024). *STUDI PERBANDINGAN PENGGUNAAN JENIS-JENIS AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK UJI MARSHAL PADA CAMPURAN LATASTON DI KABUPATEN KETAPANG*.

Pasaribu, H., & Simanullang, M. T. (2021). HUBUNGAN KEKUATAN

TANAH DASAR DENGAN PERKERASAN KAKU (RIGID PAVEMENT). In *Jurnal Teknik Sipil* (Vol. 1, Issue 1).

Putra, I. G. A. A. (2023). Analysis Of Complex Shear Modulus Asphalt (G*) And Phase Angle (Î´) On 60/70 Penetration Asphalt With The Additiion Of Mask Waste Content. *Journal of Civil Engineering and Planning*, *4*(2), 277–284. https://doi.org/10.37253/jcep.v4i2.8779

Rahmatika, Z., Tri Nugraha, P., Yanto Hasibuan, F., Lestari, K., Putri Pratiwi, L., Deza Qat, Q., & Rismawati, S. (2024). PERAN AKSES JALAN DALAM MENINGKATKAN DAYA SAING UMKM DI DAERAH TERPENCIL. *JMA)*, *2*(9), 3031–5220. https://doi.org/10.62281