

**KARAKTERISTIK *MARSHALL* PADA CAMPURAN *SPLIT MASTIC ASPHALT (SMA)* DENGAN MENGGUNAKAN LIMBAH ARANG
TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI BAHAN TAMBAH PADA ASPAL**

(Skripsi)

Oleh

RAHMAD DZULHADI



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRACT

MARSHALL CHARACTERISTICS ON MIXTURE OF SPLIT MASTIC ASPHALT (SMA) USING WASTE COCONUT SHELL CHARCOAL AS ADDITIONAL INGREDIENTS IN ASPHALT

By

RAHMAD DZULHADI

Split Mastic Asphalt (SMA) is one of the surface layers with a higher percentage than AC and HRS pavement. This layer uses a gap gradation which has advantages, one of which is the percentage of coarse aggregate 70% of the total mixture, so that the main strength comes from the strength of the aggregate. In addition, it is necessary to increase the strength of the asphalt which can be done in several ways, one of which is by using coconut shell charcoal waste as a mixture in the asphalt. Coconut shell waste is found in Indonesia that has not been used optimally, so this study aims to determine the effect of adding coconut shell waste to the Split Mastic Asphalt (SMA) pavement mixture on Marshall characteristics and determine the optimum asphalt content and coconut shell charcoal content needed to SMA mixture can improve strength performance in asphalt mixture by using coconut shell charcoal waste as an additive to asphalt. Variations in addition of 3% and 6% Coconut Shell Charcoal will be mixed with asphalt. Furthermore, the test object for each percentage variation of the addition of Coconut Shell Charcoal is soaked for 30 minutes at 60 C. The addition of coconut shell charcoal to the Split Mastic Asphalt (SMA) mixture has an effect on changes in the Stability value, the higher the coconut shell charcoal content in the Split Mastic Asphalt (SMA) mixture, the Stability value will increase, this is because coconut shell charcoal affects the penetration value of the asphalt. . The results of this study obtained the highest stability value at the addition of 9% Coconut Shell Charcoal content.

Keywords: Split Mastic Asphalt (SMA), Coconut Shell Charcoal, Stability

ABSTRAK

KARAKTERISTIK MARSHALL PADA CAMPURAN SPLIT MASTIC ASPHALT (SMA) DENGAN MENGGUNAKAN LIMBAH ARANG TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI BAHAN TAMBAH PADA ASPAL

Oleh

RAHMAD DZULHADI

Split Mastic Asphalt (SMA) adalah salah satu lapisan permukaan dengan persentase yang lebih tinggi dari perkerasan AC dan HRS. Lapisan ini menggunakan gradasi senjang dimana memiliki keunggulan yang salah satunya adalah persentase agregat kasar 70% dari total campuran, sehingga kekuatan pokok bersumber dari kekuatan agregat. Selain itu, diperlukan peningkatan kekuatan pada aspal yang dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya adalah dengan menggunakan limbah arang tempurung kelapa sebagai campuran pada aspal tersebut. Limbah tempurung kelapa banyak ditemukan di Indonesia yang belum dimanfaatkan secara optimal, sehingga penelitian ini bertujuan untuk Mengetahui pengaruh dari penambahan limbah tempurung kelapa pada campuran perkerasan Split Mastic Asphalt (SMA) terhadap karakteristik Marshall dan Menentukan kadar aspal optimum dan kadar arang tempurung kelapa yang dibutuhkan agar campuran SMA dapat meningkatkan kinerja kekuatan dalam campuran aspal dengan menggunakan limbah arang tempurung kelapa sebagai bahan tambah pada aspal. Variasi penambahan Arang Tempurung Kelapa sebesar 3% dan 6% yang akan dicampurkan aspal.. Selanjutnya benda uji pada setiap variasi persentase penambahan Arang Tempurung Kelapa direndam dengan 30 menit dengan suhu 60 °C. Penambahan arang tempurung kelapa terhadap campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* berpengaruh terhadap perubahan nilai Stabilitas, semakin tinggi kadar arang tempurung kelapa dalam campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* maka nilai Stabilitas akan semakin meningkat, hal ini dikarenakan arang tempurung kelapa mempengaruhi nilai penetrasi terhadap aspal. Hasil dari penelitian ini diperoleh nilai stabilitas tertinggi pada penambahan kadar Arang Tempurung Kelapa 9%.

Kata Kunci: *Split Mastic Asphalt (SMA)*, Arang Tempurung Kelapa, Stabilitas

**KARAKTERISTIK *MARSHALL* PADA CAMPURAN *SPLIT*
MASTIC ASPHALT (SMA) DENGAN MENGGUNAKAN
LIMBAH ARANG TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI BAHAN
TAMBAH PADA ASPAL**

Oleh

RAHMAD DZULHADI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Skripsi : **KARAKTERISTIK *MARSHALL* PADA
CAMPURAN *SPLIT MASTIC ASPHALT*
(*SMA*) DENGAN MENGGUNAKAN LIMBAH
ARANG TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI
BAHAN TAMBAH PADA ASPAL**

Nama Mahasiswa : **Rahmad Dzulhadi**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1655011011

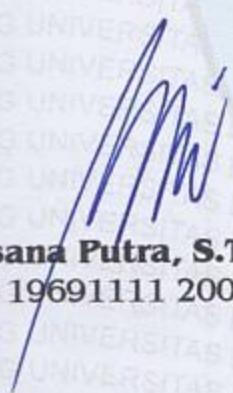
Program Studi : S1 Teknik Sipil

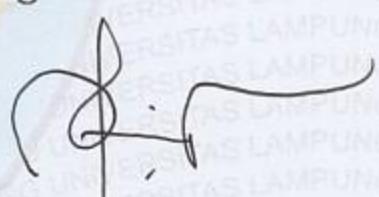
Fakultas : Teknik



MENYETUJUI

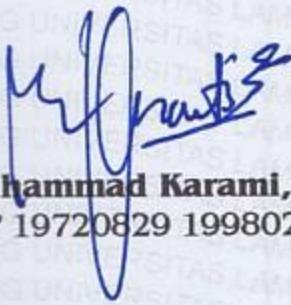
1. Komisi Pembimbing

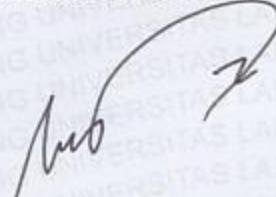

Sasana Putra, S.T., M.T.
NIP 19691111 200003 1 002


Ir. Dwi Herianto, M.T.
NIP 19610102 199803 1 003

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil


Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19720829 199802 1 001


Ir. Laksmi Irianti, M.T.
NIP 19620408 198903 2 001

MENGESAHKAN

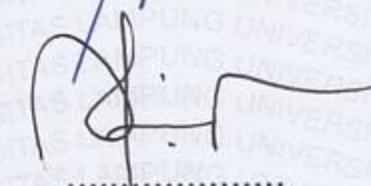
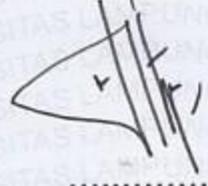
1. Tim Penguji

Ketua : **Sasana Putra, S.T., M.T.**

Sekretaris : **Ir. Dwi Herianto, M.T.**

Penguji : **Dr. Rahayu Sulistyorini, S.T., M.T.**




.....

.....

.....

2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }
NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **15 Februari 2022**

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, adalah :

Nama : Rahmad Dzulhadi

NPM : 1655011011

Prodi/Jurusan : S1/Teknik Sipil

Fakultas : Teknik Universitas Lampung

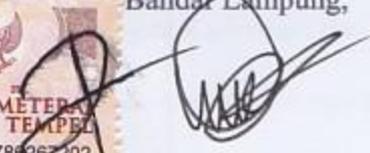
Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul "**Karakteristik Marshall Pada Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) Dengan Menggunakan Limbah Arang Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Tambah Pada Aspal**" tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebut dalam daftar Pustaka.

Ide penelitian didapat dari Pembimbing I, oleh karena itu hak atas data penelitian berada ditangan saya dan Pembimbing I, Bapak Sasana Putra, S.T., M.T.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ditemukan ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang berlaku.



Bandar Lampung, Februari 2022


Rahmad Dzulhadi

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Rahmad Dzulhadi, dilahirkan di Bandar Lampung, pada tanggal 8 April 1998. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara, putra dari Bapak Marsidi dan Ibu Zuarni. Memiliki 2 orang saudari yakni Apri Yuliani, dan Berty Devi Susanti.

Jenjang Pendidikan Penulis dimulai ditahun 2003 di Taman Kanak-Kanak Kartika II-6, Bandar Lampung. Setelah lulus TK penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar di SD Kartika II-5 Bandar Lampung, Provinsi Lampung dimulai dari tahun 2004-2010. Setelah lulus SD penulis menempuh pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP N 25 Bandar Lampung dari tahun 2010-2013 dan melanjutkan ke jenjang Sekolah Menengah Atas di SMA YP Unila Bandar Lampung dari tahun 2013-2016. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2016.

Pada tahun 2017/2018 penulis tercatat sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung sebagai anggota Kaderisasi. Kemudian, pada periode 2018/2019 penulis tercatat sebagai anggota Kaderisasi dan anggota Komisi Disiplin Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung. Penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata di Desa Tegal Ombo, Kecamatan Way Bungur, Kabupaten Lampung Timur, Provinsi Lampung selama 40 hari pada periode I, 3

Januari – 10 Februari 2020. Dalam pengaplikasian ilmu dibidang Teknik Sipil, penulis juga telah melaksanakan Kerja Praktik di Proyek Pembangunan *Faculty of Science and Technology Tower 1 and 2, Faculty of Pshycology, Faculty of Letter and Humanites* Universitas Islam Negeri Radin Intan Lampung selama 3 bulan.

Selama masa perkuliahan, penulis juga pernah berpartisipasi pada acara *The 5th Civil Brings Revolution* tahun 2019 sebagai anggota *Sponsorship* dan Dana Usaha.

Selanjutnya, penulis mengambil tugas akhir untuk skripsi pada tahun 2021, dengan judul skripsi Karakteristik *Marshall* Pada Campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* Dengan Menggunakan Limbah Arang Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Tambah Pada Aspal.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Alhamduillahirabbil'alamiin, Puji syukur kepada Allah SWT yang selalu memberikan berkahnya kesetiap langkah perjalanan hidupku. Shalawat serta salam tak lupa saya haturkan kepada nabi tercinta Nabi Muhammad SAW

dan

Saya persembahkan karya tulis ini kepada:

Ayah dan Ibu
Marsidi Dan Zuarni S.Pd

Apri Yuliani, S.E., M.Sc, Berty Devi Susanti S.E

Teknik Sipil Angkatan 2016 Universitas Lampung

Dan teman-teman semua, yang pernah memberi warna baru dicerita kehidupanku.

MOTTO

Q.S. Ali Imron: 139

Q.S. Al-Baqarah: 153

Ridho nya Allah SWT Ridho nya Orang Tua, Murka nya Allah SWT Murka nya Orang Tua

**Angin tidak berhembus untuk menggoyangkan pepohonan, melainkan menguji kekuatan akarnya
-Ali bin Abi Thalib-**

**Semua orang bisa membuat sejarah. Tetapi hanya orang hebatlah yang dapat menuliskannya
-Oscar Wilde-**

**Tidak ada pemandangan yang lebih mengesankan daripada seseorang anak muda yang pesimis
-Mark Twin-**

**Cara terbaik untuk menyenangkan diri sendiri dengan cara menyenangkan orang lain
-Memed-**

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah, serta inayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Karakteristik Marshall Pada Campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* Dengan Menggunakan Limbah Arang Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Tambah Pada Aspal” dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah SWT dengan segala kuasa-Nya pemberi rahmat, hidayah dan ampunan bagi hamba-Nya termasuk penulis. Terimakasih ya Allah, semoga semua hal yang telah penulis lakukan dan kerjakan bernilai ibadah dan mendapat pahala dari-Mu. Aamiin ya Rabb.
2. Kedua orang tua, Bapak dan Ibu tercinta, Marsidi dan Zuarni S.Pd Terima kasih atas segala doa, cinta dan kasih sayang, dukungan dan semangat serta perhatian dan kepercayaan yang selalu diberikan yang tidak akan mampu penulis balas segala jasa dan kebaikannya sampai kapanpun. Semoga Allah SWT selalu memberikan perlindungan, kesehatan, kasih sayang, umur panjang dan keberkahan sebagai balasan atas segala jasa dan kebaikan Bapak dan Ibu tercinta.

3. Kakak-kakak tersayang, Apri Yuliani, SE., M.Sc., dan Berty Devi Susanti, SE., yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan serta kebahagiaan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.
4. Bapak Dr.Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
5. Ir. Laksmi Irianti, M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
6. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
7. Sasana Putra S.T., M.T. selaku pembimbing pertama penulis. Terima kasih atas ilmu, masukan, ide serta saran yang sangat membangun terutama dalam proses menyelesaikan skripsi ini, terima kasih juga atas kebaikan serta segala pengertian dan kesabaran selama proses menyusun tulisan ini. Semoga segala kebaikan ibu akan selalu membawa keberkahan bagi bapak dan Keluarga.
8. Ir. Dwi Herianto, M.T. selaku dosen pembimbing kedua penulis. Terima kasih atas ilmu, masukan, ide serta saran yang sangat membangun terutama dalam proses menyelesaikan skripsi ini, terima kasih juga atas kebaikan serta segala pengertian dan kesabaran selama proses menyusun tulisan ini. Semoga segala kebaikan ibu akan selalu membawa keberkahan bagi bapak dan Keluarga.
9. Ibu Dr. Rahayu Sulistyorini, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang selalu mampu memberikan pengetahuan baru, masukan, serta kritik dan saran yang sangat bermanfaat baik dalam proses perkuliahan maupun dalam proses

penyusunan skripsi ini. Semoga segala kebaikan bapak akan selalu membawa keberkahan bagi Ibu dan Keluarga.

10. Seluruh dosen Prodi S1 Teknik Sipil atas semua bekal ilmu pengetahuan yang telah diberikan. Serta staf akademisi.
11. Bapak Suroto dan staf laboratorium jalan raya, yang telah banyak memberikan masukan dan arahan selama penulis melakukan penelitian.
12. Tim Kerja Rodi : Bima, Krisna, Ucup, Arif, Pina yang telah dan sedang berjuang Bersama-sama menggapai gelar S.T.
13. Serta teman teman yang membantu dalam pembuatan sample di lab : Kima, Balmon, Bimo, Kakek, Klomang, Santos, Acil, Nanda, Nopal, Ade, Oji.
14. Tim KP : Balmon, Jeane, Ucup, Arif yang telah belajar bersama sama menjadi kuli bangunan yang sebenarnya
15. 011 : Komeng yang menjadi matahari selama diperkuliahan
16. Rombongan FKBTCH, yang selama ini menemani saya, membantu saya dalam perkuliahan, sosial, dll
17. Kawan-kawan angkatan 2016 yang telah sama-sama berjuang, maaf tidak bisa menyebutkan satu-persatu. Terima kasih atas segalanya selama 5 tahun masa kuliah ini. Semoga kita semua akan sukses dalam berkarir nanti.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan.

Karenanya, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, Februari 2022

Rahmad Dzulhadi

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	ii
DAFTAR TABEL	iii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Perkerasan Jalan	6
2.2 <i>Split Mastic Asphalt</i> (SMA).....	7
2.3 Aspal	9
2.4 Agregat.....	12
2.5 Arang Tempurung Kelapa.....	15
2.6 Karakteristik Uji Marshall	16
III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian	21
3.2 Lokasi penelitian	22
3.3 Bahan Bahan Penelitian	22
3.4 Peralatan Penelitian.....	23
3.5 Prosedur Penelitian	24
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 4.1. Grafik Gradasi Kombinasi Analisa Saringan	32
Gambar 4.2. Grafik Stabilitas Terhadap Arang Tempurung Kelapa.	34
Gambar 4.3. Grafik Flow Terhadap Arang Tempurung Kelapa.	36
Gambar 4.4. Grafik VIM Terhadap Arang Tempurung Kelapa.....	37
Gambar 4.5. Grafik VMA Terhadap Arang Tempurung Kelapa.	38
Gambar 4.6. Grafik VFA Terhadap Arang Tempurung Kelapa.....	39

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jalan merupakan salah satu infrastruktur sebagai penunjang pergerakan ekonomi dan sosial. Di tahun 2019, panjang jalan aspal di Indonesia mencapai 325,606 km berdasarkan Badan Pusat Statistik Indonesia (2019). Maka kelayakan dan kenyamanan jalan perlu diperhatikan agar meminimalisir terjadinya kerusakan jalan. Kerusakan jalan terjadi seiring dengan bertambahnya masa umur pelayanan. Secara umum, 44% jalan di Indonesia berada dalam kondisi baik. Sisanya dalam kondisi sedang 19%, rusak ringan 15% dan rusak berat yakni sebesar 22%. Di Indonesia kerusakan jalan diakibatkan oleh beberapa faktor seperti peningkatan dan repetisi beban mekanis seiring dengan peningkatan volume kendaraan, kondisi tanah dasar yang tidak stabil, pemadatan tanah dasar yang tidak optimal, perubahan cuaca, suhu, temperatur, dan konstruksi jalan yang belum memenuhi standar spesifikasi. Maka dari itu perlu dilakukan pemeliharaan maupun perbaikan untuk mempertahankan kondisi jalan pada tingkat yang layak dan memperlambat laju penurunan kondisi jalan.

Kondisi jalan yang baik sangat dipengaruhi oleh lapisan-lapisan penyusun jalan itu sendiri. *Split Mastic Asphalt (SMA)* adalah salah satu lapisan permukaan dengan persentase yang lebih tinggi dari perkerasan AC dan HRS. Lapisan ini menggunakan gradasi senjang dimana memiliki keunggulan yang salah satunya adalah persentase agregat kasar 70% dari total campuran, sehingga kekuatan pokok bersumber dari kekuatan agregat. Selain itu, diperlukan peningkatan kekuatan pada aspal yang dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya adalah dengan menggunakan limbah arang tempurung kelapa sebagai campuran pada aspal tersebut. Limbah tempurung kelapa banyak ditemukan di Indonesia yang belum dimanfaatkan secara optimal, sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik *marshall* pada campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* dengan menggunakan limbah arang tempurung kelapa sebagai bahan tambah pada aspal.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana pengaruh dari penambahan limbah arang tempurung terhadap aspal penetrasi 60/70 untuk campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* terhadap karakteristik *Marshall*?
- b. Berapa kadar aspal optimum yang dibutuhkan pada campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* terhadap aspal yang sudah ditambahkan kadar Arang Tempurung Kelapa?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah

- a. Mengetahui pengaruh dari penambahan limbah tempurung kelapa pada campuran perkerasan *Split Mastic Asphalt (SMA)* terhadap karakteristik *Marshall*.
- b. Menentukan kadar aspal optimum dan kadar arang tempurung kelapa yang dibutuhkan agar campuran *SMA* dapat meningkatkan kinerja kekuatan dalam campuran aspal.

1.4. Batasan Penelitian

Berikut adalah batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini, diantaranya:

- a. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- b. Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70
- c. Bahan *additive* aspal yang digunakan adalah arang tempurung kelapa.
- d. Penambahan arang tempurung kelapa pada kadar aspal yaitu sebesar 3%, 6% dan 9%
- e. Penelitian ini didasarkan pada pengujian *marshall* untuk mengetahui kinerja campuran *SMA* dengan arang tempurung kelapa yaitu pada nilai stabilitas, *flow*, *VIM*, dan *VMA*.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini sebagai berikut :

- a. Dapat mengoptimalkan limbah arang tempurung kelapa sebagai bahan *additive* untuk campuran aspal.
- b. Sebagai inovasi dalam bidang infrastruktur jalan dengan penggunaan limbah arang tempurung kelapa pada campuran SMA.

1.6. Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini menggunakan sistematika penulisan yaitu sebagai berikut:

I. Pendahuluan

Pada bab ini berisi latar belakang penelitian, rumusan dan batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

II. Tinjauan Pustaka

Bab ini berisikan pembahasan dari teori-teori dan rumus-rumus yang digunakan untuk menunjang penelitian yang diperoleh dari berbagai sumber.

III. Metodologi Penelitian

Bab ini akan menjelaskan mengenai metode yang digunakan dalam penelitian untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan dalam proses pengolahan data.

IV. Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini berisi tentang pelaksanaan penelitian yang dilakukan mencakup hasil pengumpulan data, pengolahan data, analisis dan pembahasan data berdasarkan hasil yang diperoleh dan teori yang ada.

V. Kesimpulan dan Saran

Bab ini akan berisi kesimpulan yang diambil dari penelitian ini dan saran. Pada akhir penulisan skripsi ini akan dilampirkan daftar pustaka sebagai referensi penunjang yang digunakan dan lampiran yang berisikan data–data penunjang dalam proses pengolahan data.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan satu atau beberapa lapis material yang dipadatkan di atas tanah dasar dengan tujuan agar lalu lintas dapat berjalan secara lancar tanpa terhambat. Perkerasan jalan berfungsi untuk mengusahakan agar tahan terhadap beban lalu lintas dan cuaca sedemikian rupa sehingga usaha pemeliharaan mampu mempertahankan permukaan untuk tetap dalam kondisi layak untuk dilewati. Dilihat dari bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan atas:

1. Konstruksi perkerasan lentur (*Flexible Pavement*), merupakan perkerasan dengan bahan pengikat berupa aspal. Lapisan–lapisan pada perkerasan ini memiliki fungsi sebagai pemikul beban lalu lintas dan menyebarkannya ke tanah dasar (Sukirman, 2010)
2. Konstruksi perkerasan kaku (*Rigid Pavement*), merupakan perkerasan dengan bahan pengikat berupa semen (*Portland Cement*). Perkerasan ini menggunakan pelat beton dengan atau tanpa tulangan yang diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapisan pondasi bawah. Beban lalu lintas untuk perkerasan kaku sebagian besar dipikul oleh pelat beton (Adhita Maharani, 2018).

3. Konstruksi perkerasan komposit (*Composite Pavement*), merupakan jenis perkerasan campuran antara perkerasan kaku dan perkerasan lentur, dapat berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku atau perkerasan kaku di atas perkerasan lentur.

2.2 *Split Mastic Asphalt (SMA)*

Split Mastic Asphalt (SMA) adalah campuran dengan gradasi senjang (*gap graded*) yang mengandung sebagian besar agregat kasar, dan membentuk kerangka yang efisien untuk penyebaran beban. Agregat kasar di ikat bersamasama oleh mastic, yang mengandung bahan pengisi (*filler*), serat (*fiber*) dan polimer dengan lapisan aspal yang cukup tebal (Furqon Affandi, 2010).

SMA merupakan campuran gradasi timpang dengan persentase agregat kasar tinggi. Campuran SMA lebih tahan terhadap deformasi, mempunyai kekuatan dan keawetan yang tinggi karena kadar agregat kasar dan aspalnya tinggi serta distabilisasi dengan aditif sehingga dapat digunakan untuk perencanaan lapisan yang optimum dan dapat melayani sesuai dengan umur layan perkerasan jalan. Persentase kadar aspal yang tinggi pada SMA membutuhkan aditif yang menstabilkan dan memperkuat campuran (Riza Millatul Aminin, 2020). Salah satu campuran SMA ialah bergradasi terbuka, dengan sifat:

1. Tahan terhadap alur dimana terdapat temperature yang cukup tinggi serta lalu lintas berat yang bertumpu pada suatu tempat.
2. Dapat dilaksanakan walaupun dengan pelapisan yang tipis.

3. Banyaknya rongga yang terdapat dalam campuran, maka digunakan kadar aspal yang cukup tinggi.
4. Tidak peka jika terjadi perubahan kadar aspal terhadap campuran.
5. Lebih fleksibel saat mengatasi perubahan bentuk karena kurang bagusnya lapisan bawah.
6. Menghasilkan kelekatan cukup baik antara lapisan SMA dengan lapisan bawahnya.
7. Memiliki struktur permukaan yang seragam dan kasar.

Pada dasarnya campuran SMA terdiri dari 2 unsur, dimana agregat sebagai bahan utama, aspal, serta sebagai bahan tambahan. Putri (2018), menyatakan kualitas pengerasan aspal dapat dikarakteristikan dengan kekakuan, stabilitas, daya tahan, permeabilitas, kemampuan bahan, ketahanan leleh, ketahanan selip dan ketahanan terhadap kerusakan kelembaman.

Tabel 2.2. Gradasi Agregat SMA

URAIAN	SATUAN
Gradasi Agregat	(% Lolos saringan)
12,50 mm	100
11,20 mm	90 – 100
8,00 mm	50 – 75
5,00 mm	30 – 50
2,00 mm	20 – 30
0,71 mm	13 – 25
0,25 mm	10 – 20
0,09 mm	8 – 13

Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga. 2018. General Specification for Road Betterment Project. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta

2.3 Aspal

Aspal merupakan material perkerasan jalan yang berfungsi sebagai bahan pengikat dan pengisi antar agregat. Polimer alam berupa selulosa dari pelepah batang pisang memiliki potensi untuk dijadikan alternatif bahan tambah pada aspal yang berguna untuk meningkatkan kualitas aspal itu sendiri (Desi Widianty, 2018).

Bitumen merupakan zat perekat material (*viscous cementitious material*) yang berwarna hitam atau gelap, berbentuk padat atau semi padat, dan dapat diperoleh di alam maupun sebagai hasil produksi. Bitumen dapat berupa aspal, tar, atau *pitch*. Namun dari ketiga jenis bitumen tersebut, hanya aspal yang umum dan banyak digunakan untuk bahan pembentuk perkerasan jalan, sehingga kerap kali bitumen disebut sebagai aspal (Sukirman, 2016). Aspal bersifat termoplastis yaitu akan mencair jika dipanaskan dan akan kembali membeku jika temperatur turun. Sifat ini digunakan dalam proses konstruksi perkerasan jalan. Banyaknya aspal pada campuran perkerasan jalan berkisar antara 4 - 10% berdasarkan berat campuran atau 10 - 15% berdasarkan volume campuran. Fungsi kandungan aspal dalam campuran dapat berperan sebagai selimut agregat dalam bentuk *film* aspal yang berfungsi menahan gaya gesek permukaan dan mengurangi kandungan pori udara yang juga berarti mengurangi infiltrasi air ke dalam campuran.

a. Aspal Keras / *Asphalt Cement*

Aspal keras merupakan aspal yang berasal dari residu destilasi minyak bumi. Aspal keras dapat dikelompokkan berdasarkan nilai penetrasinya pada temperatur ruang ($25^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$), yaitu : pen 40/50, pen 60/70, pen 85/100, pen

120/150, pen 200-300. Semakin kecil angka penetrasi maka aspal akan semakin keras, semakin susah cara penanganannya karena diperlukan suhu yang lebih tinggi agar aspal dapat menjadi lunak atau cair. Sebaliknya semakin tinggi angka penetrasi maka aspal akan mudah encer. Di Indonesia aspal yang sering digunakan adalah aspal pen 60/70.

b. Aspal Modifikasi

Aspal merupakan salah satu material yang digunakan sebagai bahan pembuatan jalan raya, material ini dipilih karena hasil akhirnya yang baik dan nyaman sebagai perkerasan fleksibel. Untuk menekan jumlah kebutuhan akan aspal yaitu dengan meminimalisir penggunaan bahan dasar aspal, atau dengan peningkatan mutu aspal dalam campuran seperti peningkatan stabilitas, durabilitas, dan ketahanannya terhadap air dengan menambahkan bahan tambahan dalam campuran yang sifatnya mampu mengatasi kelemahan yang dimiliki aspal contohnya bahan polimer ataupun plastic (Priyo Pratomo, 2016).

Aspal Modifikasi biasa dikenal dengan *Polymer Modified Asphalt* (PMA) atau *Polymer Modified Bitumen* (PMB) merupakan aspal minyak yang ditambah dengan bahan tambah (*additive*) untuk meningkatkan kinerjanya, salah satunya yakni aspal *Toughness* yakni ketangguhan aspal dalam menahan keausan terhadap agregat dan mampu meningkatkan stabilitas dan mencegah patah akibat beban lalu lintas serta hilangnya stabilitas.. Pada penelitian ini aspal modifikasi dibuat dengan mencampurkan arang tempurung kelapa dengan

kadar 3%, 6% dan 9% pada aspal keras penetrasi 60/70. Berdasarkan penelitian tentang “Potensi Bioaspal pada Bahan Daur Ulang Aspal dan Campuran Beraspal Hangat” yang dilakukan oleh Atmy V.R. Sihombing et al. Diperoleh hasil bahwa Bioaspal merupakan aspal yang berasal dari biomassa yang mengandung lignin. Bioaspal dapat meningkatkan kinerja aspal terhadap *rutting* pada temperatur rendah. Aspal polimer ini dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu :

1. Aspal Polymer Plastomer

Penambahan bahan polymer pada aspal berfungsi untuk meningkatkan sifat fisik campuran aspal dan sifat rheologinya. Jenis polymer plastomer yang banyak digunakan adalah EVA (*Ethylene Vinyle Acetate*), *Polyethylene* dan *Polypropilene*.

2. Aspal Polymer Elastomer

Aspal jenis ini sering digunakan sebagai campuran aspal keras karena dapat memperbaiki sifat rheology aspal yang meliputi penetrasi, kekentalan, titik lembek dan elastisitas aspal keras. Aspal polymer elastomer jenis SBS (*Styrene Butadiene Sterene*), SBR (*Styrene Butadiene Rubber*), SIS (*Styrene Isoprene Styrene*) dan karet hadala adalah yang umum digunakan sebagai pencampur penambah aspal keras. Penambahan tersebut harus melewati uji laboratorium karena jika berlebihan akan menimbulkan efek negatif pada aspal.

Ketentuan untuk aspal keras penetrasi telah diatur oleh Direktorat Jenderal Bina Marga yang dapat dilihat pada Tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3. Ketentuan Untuk Aspal Keras Penetrasi

No	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60- 70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				Elastomer Sintetis	
				PG70	PG76
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60-70	Dilaporkan ⁽¹⁾	
2	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (G*/sinS) pada osilasi 10 rad/detik > 1,0 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
3	Viskositas Kinematis 135°C (cSt) ⁽³⁾	ASTM D2170-10	≥ 300	≤ 3000	
4	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48	Dilaporkan ⁽¹⁾	
5	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	-	
6	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232	≥ 230	
7	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-14	≥ 99	≥ 99	
8	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0	-	
9	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	≤ 2,2	
10.	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤ 2	-	-
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002) :					
11	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8		
12	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (G*/sinS) pada osilasi 10 rad/detik > 2,2 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000		70	76
13	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54	≥ 54	≥ 54
14	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50	≥ 50	≥ 25
Residu aspal segar setelah P AV (SNI 0 3-6837-2002) pada temperatur 100oC dan tekanan 2,1 Mpa					
15	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (G*/sinS) pada osilasi 10 rad/detik > 5000 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	31	34

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6 Tabel 6.3.2.5 hal 40-41.

2.4 Agregat

Agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Sifat agregat merupakan salah satu faktor yang menentukan kemampuan perkerasan jalan untuk memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca. Oleh karena itu perlu dilakukan pemeriksaan sebelum diputuskan apakah suatu agregat dapat digunakan sebagai material perkerasan jalan. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai material perkerasan jalan adalah gradasi, tekstur permukaan, bentuk butir, berat jenis, kebersihan, kekerasan dan ketahanan agregat, kemampuan untuk menyerap air, porositas, dan daya ikat aspal dengan agregat. Spesifikasi gradasi agregat untuk campuran aspal dapat dilihat dalam tabel 2.4.

Tabel 2.4. Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos Terhadap Total Agregat							
		<i>SMA</i>			<i>Lataston</i>		<i>Laston</i>		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	<i>Base</i>	WC	BC	<i>Base</i>
1 1/2"	37,5								100
1"	25			100				100	90-100
3/4"	19		100	90-100	100	100	100	90-100	76-90
1/2"	12,5	100	90-100	50-88	90-100	90-100	90-100	75-90	60-78
3/8"	9,5	70-95	50-80	25-60	75-85	65-90	77-90	66-82	52-71
No. 4	4,75	30-50	20-35	20-28			53-69	46-64	35-54
No. 8	2,36	20-30	16-24	16-24	50-72	35-55	33-53	30-49	23-41
No. 16	1,18	14-21					21-40	18-38	13-30
No. 30	0,6	12-18			35-60	15-35	14-30	12-28	10-22
No. 50	0,3	10-15					9-22	7-20	6-15
No. 100	0,15						6-15	5-13	4-10
No. 200	0,075	8-12	8-11		6-10	2-9	4-9	4-8	3-7

1. Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar yaitu agregat yang tertahan pada ayakan No.4 (4,75 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, dan awet. Ketentuan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 2.5

Tabel 2.5. Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Metoda Pengujian	Nilai	
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan		Natrium sulfat	Maks. 12%	
		Magnesium sulfat	Maks. 18%	
Abrasi dengan mesin Los Angeles ³⁾	Campuran AC	100 putaran	Maks. 6%	
	Modifikasi dan SMA	500 putaran	Maks. 30%	
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 8%
		500 putaran		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%	
Butir Pecah pada Agregat Kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/90 [*])	
	Lainnya		100/90 ^{**})	
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA	ASTM D4791-10	Maks. 5%	
	Lainnya	Perbandingan 1:5	Maks. 10%	
Material lolos ayakan No. 200		SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%	

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Tabel 6.3.2.1a).

2. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah yang lolos dari ayakan No. 4 (4,75 mm) dan tertahan pada saringan No. 200 (0,075 mm). Pasir alam dapat digunakan dalam campuran SMA sampai batas yang tidak melampaui 15% terhadap berat total campuran. Fungsi utama agregat halus adalah mendukung stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari campuran melalui ikatan (*interlocking*) dan gesekan antar partikel. Ketentuan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 2.6

Tabel 2.6. Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metoda Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemasatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45%
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Min. 1%
Agregat Lolos Ayakan No. 200	SNI ASTM C117: 2012	Min. 10%

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Tabel 6.3.2.2).

3. Bahan pengisi (*filler*)

Filler adalah material yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) dan termasuk kapur hidrat, abu terbang, portland semen, dan abu batu yang tidak kurang dari 75%, non-plastis. *Filler* dapat berfungsi untuk mengurangi kepekaan terhadap temperatur serta mengurangi jumlah rongga udara dalam campuran. Semua campuran beraspal yang mengandung bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*) harus dalam rentang 1-2% dari berat total campuran agregat.

2.5 Arang Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa terletak dibagian dalam kelapa setelah sabut. Tempurung kelapa merupakan lapisan keras dengan ketebalan 3 mm sam 5 mm. sifat kerasnya disebabkan oleh banyaknya kandungan silika (SiO₂) yang terdapat dalam tempurung. Dari berat total buah kelapa, antara 15 – 19% merupakan berat tempurungnya. Selain itu tempurung juga banyak mengandung lignin. Sedangkan kandungan methoxyl dalam tempurung kelapa hampir sama dengan yang terdapat

dalam kayu. Pada umumnya nilai kalor yang terkandung dalam tempurung kelapa adalah berkisar antara 18200 hingga 19388,05 kJ/kg (Palungkun, 1999).

Buah kelapa mempunyai hasil sampingan berupa tempurung yang dapat diolah menjadi arang. Namun, selama ini tempurung kelapa hanya digunakan sebagai bahan bakar untuk memasak atau dibiarkan sebagai limbah. Untuk meningkatkan nilai tambah produk kelapa, perlu dilakukan upaya pemanfaatan tempurung kelapa untuk diolah menjadi arang, mengingat kebutuhan arang tempurung kelapa cenderung meningkat sebagai bahan baku pembuatan arang aktif (Hadi, 2011).

Arang aktif atau sering juga disebut karbon aktif adalah jenis karbon yang memiliki luas permukaan yang besar (500 m²/g). Hal ini dicapai dengan proses pengaktifan karbon, baik secara kimia maupun fisik. Pengaktifan juga bertujuan untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi karbon aktif. Arang aktif digunakan dalam berbagai jenis industry sebagai adsorben dan untuk kegunaan lainnya (Hadi, 2011).

2.6 Karakteristik Uji Marshall

Metode Marshall adalah metode yang paling umum digunakan dan distandarisasikan dalam American Society for Testing and Material 1993 (ASTM D, 1997). Parameter Marshall yaitu terdiri dari 3 parameter yaitu beban maksimum yang dapat diterima benda uji sebelum hancur atau disebut dengan *Marshall Stability*, deformasi permanen dari benda uji sebelum hancur atau disebut *Marshall Flow*, dan turunan atau perbandingan antara *Marshall Stability* dan *Marshall Flow*

yang biasa disebut *Marshall Quotient* (MQ). Pengujian *Marshall* menggunakan alat tekan *Marshall* yang dilengkapi dengan cincin penguji (*Proving Ring*) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) dan *flow meter*. Benda uji *Marshall* standar berbentuk silinder dengan tinggi 2,5 inch (6,35 cm) dan berdiameter 4 inch (10,16 cm). Adapun beberapa karakteristik *Marshall* campuran aspal panas ditunjukkan pada nilai-nilai sebagai berikut:

1. Stabilitas (*Stability*)

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

Nilai stabilitas campuran aspal jenis SMA disyaratkan adalah lebih dari 750 kg. Akan tetapi pada penelitian ini menggunakan campuran aspal SMA modifikasi yang syarat minimum nilai stabilitasnya 750 kg menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

2. Kelelehan (*Flow*)

Nilai kelelehan (*flow*) diperlukan untuk mengetahui deformasi vertikal campuran saat dibebani hingga mengalami kehancuran (pada stabilitas maksimum). Nilai flow diperoleh dengan pembacaan langsung jarum *Proving Ring* pada alat uji *Marshall*.

3. Rongga dalam Campuran (VIM)

Void in The Mix (VIM) merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat *porous*. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran. Nilai VIM yang terlalu rendah akan menyebabkan *bleeding* karena suhu yang tinggi, maka viskositas aspal menurun sesuai sifat termoplastisnya. Nilai VIM yang lebih dari ketentuan akan mengakibatkan berkurangnya keawetan lapis perkerasan, karena rongga yang terlalu besar akan mudah terjadi oksidasi. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$VIM = 100 - \frac{100 \times \text{berat volume b.u}}{B.J.\text{maksimum teoritis}} \dots\dots\dots(1)$$

Berat jenis maksimum teoritis:

$$BJ = \frac{100}{\frac{\% \text{ agr}}{BJ.\text{agr}} + \frac{\% \text{ aspal}}{BJ.\text{aspal}}} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan (%)

B.J Teoritis : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc).

4. Rongga dalam Agregat (VMA)

Void in Mineral Aggregate (VMA) adalah rongga udara antar butir agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif yang dinyatakan

dalam persen terhadap total volume. Nilai VMA dipengaruhi oleh faktor pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VMA ini berpengaruh pada sifat kekedapan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastis campuran. Dapat juga dikatakan bahwa nilai VMA menentukan stabilitas, fleksibilitas, dan durabilitas. Nilai VMA yang disyaratkan adalah minimum 15 %. Nilai VMA dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$VMA = 100 - \frac{(100 - \%aspal) \times \text{berat volume b.u}}{B.J. \text{Agregat}} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

VMA : Rongga udara pada mineral agregat (%)

%Aspal : Kadar aspal terhadap campuran (%)

B.J. Agregat : Berat jenis efektif

5. Rongga Terisi oleh Aspal (VFA)

Void Filled with Bitumen (VFA) merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat, dan kadar aspal. Nilai VFA berpengaruh pada sifat kekedapan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastisitas campuran dengan kata lain VFA menentukan stabilitas,

6. Hasil Bagi *Marshall* (*Marshall Quotient*)

Marshall Quotient merupakan hasil bagi antara stabilitas dan kelelahan (*flow*). Nilai *Marshall Quotient* akan memberikan nilai fleksibilitas campuran. Nilai MQ dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$MQ = \frac{S}{F} \dots\dots\dots(4)$$

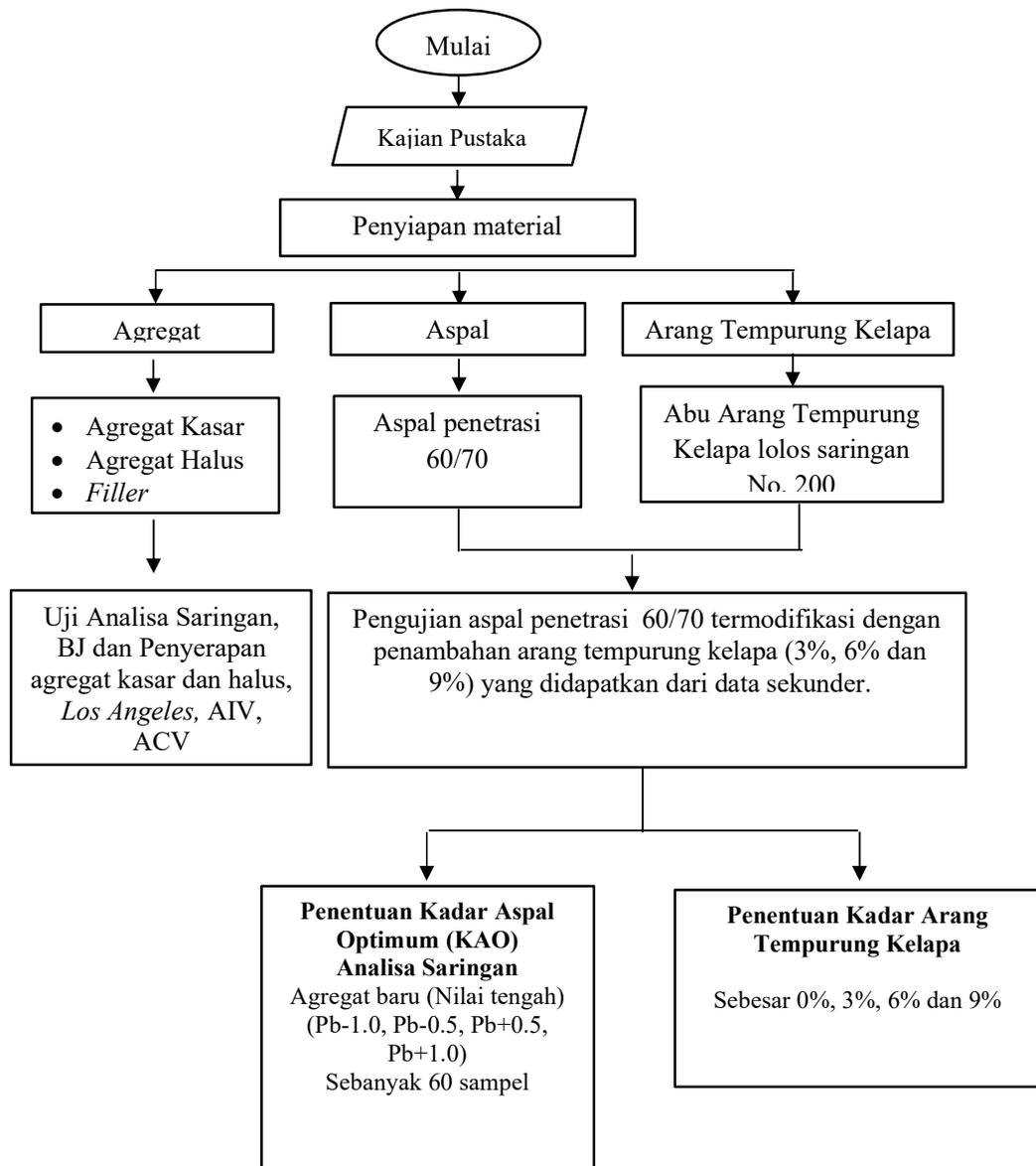
MQ = Marshall Quotient (kg/mm)

S = nilai stabilitas terkoreksi (kg)

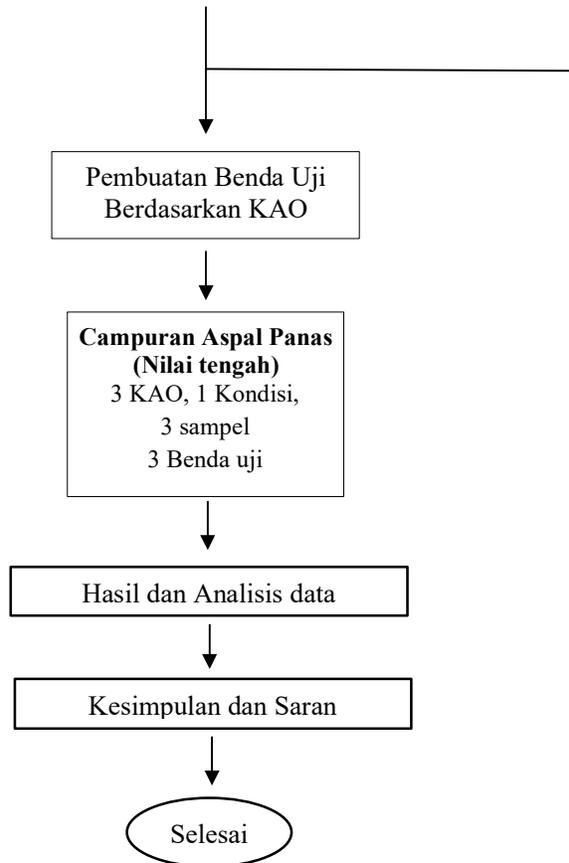
F = nilai *flow* (mm)

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.



Gambar 3.2. Lanjutan diagram alir penelitian.

3.2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Inti Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

3.3. Bahan – Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Agregat Kasar

Jenis agregat kasar yang digunakan yaitu tertahan ayakan No.4 (4,75 mm) berasal dari Laboratorium Inti Jalan Raya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.

2. Agregat Halus

Agregat halus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No.4 (4,75 mm).

3. *Filler* atau material lolos saringan No.200 yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Portland Cement*.

4. Aspal yang digunakan pada penelitian ini aspal keras dengan penetrasi 60/70.

5. Bahan pengikat alami (*natural binder*) berupa arang tempurung kelapa

3.4. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Satu Set Alat Saringan/Ayakan (*Sieve*)

Penggunaan alat saringan digunakan untuk memisahkan agregat berdasarkan gradasi agregat menurut ukurannya.

2. Alat Uji Pemeriksaan Agregat

Peralatan yang digunakan untuk pengujian agregat antara lain mesin *Los Angeles* (tes abrasi), alat pengering yaitu oven, timbangan berat, dan alat uji untuk berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas).

3. Alat Uji Karakteristik Campuran Agregat dan Aspal

Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode *Marshall*, sebagai berikut:

- a. Alat tekan *Marshall* yang terdiri dari kapal penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) yang dilengkapi dengan arloji pengukur *flow meter*.

- b. Alat cetak benda uji berbentuk silinder diameter 4 inchi (10,16 cm) dan tinggi 3 inchi (7,5 cm).
- c. Cincin penguji (*proving ring*) kapasitas 2500 kg dan atau 5000 kg, dilengkapi arloji (*dial*) tekan dengan ketelitian 0,0025 mm.
- d. *Marshall Automatic Compactor* yang digunakan untuk pemadatan campuran sebanyak 75 kali tumbukan untuk tiap sisi (atas dan bawah).
- e. *Ejector* untuk mengeluarkan benda uji setelah proses pemadatan.
- f. Bak perendam (*water bath*) yang dilengkapi dengan suhu pengatur.
- g. Alat-alat penunjang yang meliputi penggorengan, pencampur, kompor pemanas, thermometer, sendok pengaduk, sarung tangan anti panas, kain lap, timbangan, ember untuk merendam benda uji, jangka sorong, pan, dan *tipe-x* yang digunakan untuk menandai benda uji.

Peralatan yang digunakan merupakan peralatan standar pembuatan benda uji *Marshall* yang akan dilakukan di Laboratorium Inti Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

3.5. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang akan dilakukan pada penelitian akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur digunakan sebagai referensi teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Referensi ini didapatkan dari buku, jurnal, artikel, dan laporan penelitian.

2. Pengambilan Bahan Penelitian

Pada tahap ini dilakukan proses penyiapan bahan dan pengecekan peralatan yang akan digunakan. Persiapan bahan meliputi agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan bahan tambahan yaitu arang tempurung kelapa yang akan dihaluskan sampai lolos saringan No.200, dan semua bahan yang dibutuhkan, lalu didatangkan ke Laboratorium Inti Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung untuk dilakukan pengujian dan penelitian.

3. Pengujian Bahan

Pengujian terhadap sifat material pembentuk bahan perkerasan, agar bahan material tersebut sesuai dengan standar/spesifikasi yang disyaratkan yaitu sebagai berikut: Pengujian analisis saringan (*sieve analysis*). Hal ini bertujuan untuk mengetahui gradasi agregat per saringan agar dapat digunakan kembali menjadi bahan campuran perkerasan yang baru dan dikombinasikan dengan penambahan bahan agregat baru.

1) Agregat kasar, Agregat halus, dan *filler*

Pengujian agregat diperlukan sebagai bahan pengisi pada campuran beraspal dengan komposisi gradasi sesuai dengan gradasi terpakai yang memenuhi spesifikasi yang ada. Pada agregat kasar, agregat halus, dan *filler* dilakukan pengujian analisa saringan, berat jenis, dan penyerapan. Standar pengujian agregat ini mengacu pada peraturan jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6 seperti terdapat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Standar Pemeriksaan Agregat

No.	Jenis Pengujian	Standar Uji
1	Analisa saringan	SNI 03-1968-1990
2	Berat Jenis (Berat jenis bulk, Berat jenis SSD dan Berat jenis semu) dan Penyerapan agregat halus	SNI 03-1970-1990
3	Berat Jenis (Berat jenis bulk, Berat jenis SSD dan Berat jenis semu) dan Penyerapan agregat kasar	SNI 03-1969-1990
4	<i>Los Angeles Test</i>	SNI 03-2417-2008
5	<i>Aggregate Impact Value Test (AIV)</i>	BS 812: Part 3: 1975
6	<i>Aggregate Crushing Value Test (AIV)</i>	BS 812: Part 3: 1975

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6.

2) Aspal Penetrasi 60/70

Pengujian aspal dilakukan dengan melakukan uji penetrasi, titik lembek, daktilitas, berat jenis, dan kehilangan berat. Standar pengujian aspal seperti terdapat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Standar Pengujian Aspal

No	Jenis Pengujian	Standar Uji
1	Penetrasi 25°C (mm)	SNI 06-2456-1991
2	Titik Lembek (°C)	SNI 06-2434-1991
3	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991
4	Kehilangan Berat	SNI 06-2440-1991
5	Daktilitas pada 25° (cm)	SNI 06-2432-1991

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6.

3) Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO)

Langkah pertama yang dilakukan dalam tahap ini adalah menentukan Pb, yaitu kadar aspal yang digunakan sebagai perkiraan awal kadar aspal rancangan yang dapat dinyatakan dalam persamaan berikut : $P_b = 0,035$

$CA + 0,045 FA + 0,18 \text{ filler} + \text{konstanta}$ Dimana : Pb : kadar aspal semen minimum
 CA : agregat kasar yang tertahan saringan No.4, FA : agregat halus yang lolos saringan No.4 dan Filler : agregat halus lolos saringan No.200. Setelah didapat nilai Pb , diambil 5 kadar aspal yang ditentukan dengan nilai Pb sebagai nilai tengah , kemudian diambil 4 kadar aspal berbeda lainnya yaitu $\pm 0,5$ dengan ketentuan : $Pb - 1$, $Pb - 0,5$, Pb , $Pb + 0,5$, $Pb + 1$. Berdasarkan nilai KAO diatas, tahap selanjutnya yakni membuat sampel sebanyak 15 sampel untuk melakukan uji selanjutnya, yakni Karakteristik *Marshall*.

4) Pembuatan dan Pengujian Stabilitas Benda Uji

1. Menimbang agregat sesuai dengan persentase agregat campuran yang telah dihitung, kemudian benda uji dibuat sebanyak tiga buah pada masing-masing variasi Kadar Aspal Optimum (KAO), dan arang tempurung kelapa.
2. Lalu masukan bahan agregat kedalam oven selama ± 4 jam sehingga didapatkan berat kering dan menghitung kembali kadar aspal berdasarkan berat agregat setelah dioven.
3. Mencampurkan agregat sesuai KAO, dikalikan dengan kadar arang tempurung kelapa, jadi jumlah sampel sebanyak 60 sampel.
4. Sebelum dilakukan pemadatan, terlebih dahulu memanaskan cetakan yang akan digunakan dengan tujuan agar tidak terjadi penurunan suhu yang terlalu signifikan campuran pada sampel. Cetakan yang digunakan berbentuk silinder dengan tinggi standar 6,35 cm dan diameter 10,16 cm.

5. Memasukkan campuran dalam cetakan per 1/3 dan 1/2 tinggi cetakan kemudian memadatkannya menggunakan pemadat pipih yang dimaksudkan agar tidak terjadi rongga pada sampel dan melakukan pemadatan dengan alat *compactor* terhadap sampel sebanyak 2 x 75 tumbukan dengan suhu 150°C.
6. Setelah itu benda uji didiamkan selama kurang lebih 24 jam agar suhu pada benda uji menurun, kemudian benda uji dikeluarkan menggunakan *ejector* dan diberi kode sampel sesuai dengan jenis sampel, hal tersebut untuk memudahkan pada saat pengujian.
7. Lalu benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel dan diukur tinggi benda uji menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,1 mm di ketiga sisi benda uji dan ditimbang beratnya untuk mendapatkan berat benda uji kering.
8. Merendam benda uji dalam bak air selama 30 menit untuk mengetahui kadar penyerapan air.
9. Setelah itu menimbang benda uji dalam air untuk mengetahui berat jenuh pada masing-masing sampel.
10. Setelah menimbang berat jenuh, kemudian benda uji dikeringkan menggunakan kain lap sehingga didapatkan benda uji kering permukaan dan menimbang benda uji menggunakan ketelitian 0,1 gr lalu didapatkan berat benda uji kering permukaan jenuh atau SSD (*Saturated Surface Dry*).

5) Pengujian menggunakan alat Marshall

Pengujian *Marshall* dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan (*flow*) pada campuran beraspal yang mengacu pada SNI 06-2489-1991 dan akan dilakukan pengujian percobaan sesuai dengan kondisi cuaca di Indonesia yang mempunyai dua musim yaitu musim panas dan musim penghujan, pengujian akan disimulasikan dengan suhu perendaman 60°C. Berikut langkah-langkah pengujian dengan alat *Marshall*:

1. Benda uji setelah diketahui berat dan tinggi pada masing-masing sampel, lalu direndam dalam bak perendaman (*water bath*) pada suhu 60°C selama 30 menit.
2. Membersihkan bagian dalam kepala penekan alat uji *Marshall* dan dilumasi agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian.
3. Lalu mengeluarkan benda uji dari bak perendam, meletakkan benda uji dalam cincin dan memasang *flow* meter, selanjutnya letakkan kembali pada mesin penekan *Marshall*. Kemudian penekan dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji, dan mengatur jarum arloji *flow* meter pada angka nol.
4. Pembebanan dilakukan dengan kecepatan konstan 2 inch (51 mm) per menit, dibaca pada saat nilai stabilitas berhenti dan jarum mulai kembali berputar menurun, itu merupakan nilai stabilitas Marshall. pada saat itu pula dibaca arloji kelelahan dibaca.
5. Setelah pengujian selesai, kepala penekan diambil bagian atas dibuka dan benda uji dikeluarkan.

6. Melakukan pengujian berat jenis maksimum (Gmm) pada setiap sampel perendaman, sesuai dengan SNI 03-6893-2002.

4. Menghitung Parameter *Marshall*

Setelah pengujian menggunakan alat *Marshall* selesai maka akan didapatkan nilai stabilitas dan *flow*, selanjutnya dilakukan perhitungan parameter *Marshall* yaitu: *Void In The Mix* (VIM), *Void In Mineral Aggregate* (VMA), dan *Void Filled With Asphalt* (VFA) yang ada pada spesifikasi campuran dengan menggambarkan hubungan antara kadar aspal dan parameter *Marshall*.

5. Pengolahan dan Pembahasan Hasil

Berdasarkan data yang telah didapatkan pada saat penelitian di Laboratorium, akan dilakukan analisa pengolahan data terhadap nilai stabilitas pada campuran aspal daur ulang dengan penambahan bahan arang tempurung kelapa. Hasil penelitian juga diperoleh nilai karakteristik *Marshall* dan karakteristik campuran pada pengujian stabilitas terhadap campuran aspal daur ulang akibat variasi penambahan kadar arang tempurung kelapa.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan pengaruh penambahan arang tempurung kelapa terhadap campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* sebagai berikut :

1. Pengaruh penambahan arang tempurung kelapa pada campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* terhadap perubahan nilai Stabilitas, *Flow*, VIM adalah semakin tinggi kadar arang tempurung kelapa dalam campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* maka nilai Stabilitas akan semakin meningkat, *Flow* diperoleh bahwa campuran arang tempurung kelapa tidak mengalami perubahan yang signifikan. Dan VIM semakin tinggi kadar arang tempurung kelapa maka nilai VIM akan semakin meningkat.
2. Dalam penelitian ini didapat disimpulkan bahwa Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran aspal yang dikombinasikan dengan arang tempurung kelapa 0%, 3%, 6% dan 9% meningkat. Adapun hasil Kadar Aspal Optimum (KAO) pada 0% yakni sebesar 6%, untuk campuran arang tempurung kelapa 3% sebesar 6.1%, untuk campuran arang tempurung kelapa 6% sebesar 6.25% dan untuk campuran arang tempurung kelapa 9% yakni sebesar 6.4%. Dan KAO yang terbaik ada di campuran 9% dengan KAO 6.4% dan nilai stabilitas sebesar 808,7 Kg.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas dan pengalaman selama penelitian di laboratorium, maka beberapa saran untuk penelitian lanjutan sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan uji untuk mengetahui batas maksimal kadar bahan tambah aspal “ATK” yang digunakan dalam campuran SMA.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, Furqon. 2010. *Analisis Pengaruh Gradasi pada Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) yang Menggunakan Aditif ASBUTON Murni untuk Perkerasan Bandara*
- Aminin, Riza M. 2020. *Karakteristik Marshall Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) dengan Penambahan Selulosa Serat Kapuk*. Jurnal Rekayasa Sipil & Lingkungan Vol.04(1). Universitas Jember.
- Badan Pusat Statistik Indonesia. 2019. *Panjang Jalan Aspal di Indonesia*. Indonesia.
- Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia. 2018. *Spesifikasi Umum*. Divisi 6.
- Hadi, R. 2011. *Sosialisasi Teknik Pembuatan Arang Tempurung Kelapa dengan Pembakaran Sistem Suplai Udara Terkendali*. Buletin Teknik Pertanian 16(2): 77-80. Departemen Pertanian Jambi.
- Maharani, Adhita. 2018. *Perbandingan Perkerasan Kaku dan Perkerasan Lentur Studi Kasus Ruas Jalan Raya Pantai Prigi – Popoh Kab. Tulungagung*. Surabaya
- Mashuri. 2006. *Sifat Mekanis Aspal yang Ditambahkan Serbuk Arang Tempurung Kelapa*, Jurnal UNTAD Vol.8(1).
- Nur , Misbakhul F. 2017. *Pemanfaatan Serbuk Arang Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Tambah dengan Filler Abu Batu untuk Meningkatkan Kinerja Karakteristik Beton Aspal (AC-WC)*. Jurnal Sondir Vol.1. Progam Studi Teknik Sipil FTSP ITN Malang. Malang.
- Pratomo, Priyo. 2016. *Aspal Modifikasi Dengan Penambahan Plastik Low Linear Density Poly Ethylene (LLDPE) Ditinjau Dari Karakteristik Marshall Dan Uji Penetrasi Pada Lapisan Aspal Beton (AC-BC)*. Jurnal Rekayasa, Vol. 20 (3).
- Putra, Syukri M. 2019. *Pengaruh Penambahan Abu Arang Tempurung Kelapa terhadap Durabilitas Campuran Aspal Beton AC-BC*. Padang. Universitas Andalas.
- Widianty , Desi. 2020. *Analisis Karakteristik Marshall pada Beton Aspal Lapis Pengikat (AC-BC) Menggunakan Aspal Modifikasi Serbuk Serat Pelepah Batang Pisang*. Jurnal Sains Teknologi dan lingkungan Universitas Mataram Vol.6 (1).