

**PENGARUH PEMANFAATAN ABU FIBER KELAPA SAWIT SEBAGAI
FILLER TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL PADA
CAMPURAN ASPHALT CONCRETE - BINDER COURSE
(AC – BC)**

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar Sarjana
Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Islam Riau*



DISUSUN OLEH :

RISKON RAMADHAN SIDIK

NPM : 183110437

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU**

2022

**PENGARUH PEMANFAATAN ABU FIBER KELAPA SAWIT SEBAGAI
FILLER TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL PADA
CAMPURAN ASPHALT CONCRETE - BINDER COURSE
(AC – BC)**

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar Sarjana
Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil
Universitas Islam Riau
Pekanbaru*



Oleh

RISKON RAMADHAN SIDIK

183110437

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU**

2022

HALAMAN PERSETUJUAN

SKRIPSI

**PENGARUH PEMANFAATAN ABU FIBER KELAPA SAWIT SEBAGAI
FILLER TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL PADA
CAMPURAN ASPHALT CONCRETE - BINDER COURSE
(AC – BC)**

DISUSUN OLEH

RISKON RAMADHAN SIDIK

NPM : 183110437

Diperiksa dan Disetujui oleh:

Roza Mildawati, S.T., M.T.

Pembimbing



Tanggal : 14 Juli 2022

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

**PENGARUH PEMANFAATAN ABU FIBER KELAPA SAWIT SEBAGAI
FILLER TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL PADA
CAMPURAN ASPHALT CONCRETE - BINDER COURSE**

(AC – BC)

DISUSUN OLEH

RISKON RAMADHAN SIDIK

NPM : 183110437

Telah Disetujui di Depan Dewan Penguji Tanggal 14 Juli 2022

Dan Dinyatakan Telah Memenuhi Syarat Untuk Diterima

SUSUNAN DEWAN PENGUJI



Roza Mildawati, S.T., M.T.

Pembimbing



Vella Anggreana, S.T., M.T.

Penguji I



Harmiyati, S.T., M.Si.

Penguji II


PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan :

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademi (Strata Satu), di Universitas Islam Riau.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dari dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila kemudian hari terdapat penyimpangan dan tidak kebenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Pekanbaru, 02 Agustus 2022
Yang Bersangkutan Pernyataan




Riskon Ramadhan Sidik

NPM. 183110437

**PENGARUH PEMANFAATAN ABU FIBER KELAPA SAWIT SEBAGAI
FILLER TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL PADA
CAMPURAN ASPHALT CONCRETE - BINDER COURSE
(AC – BC)**

RISKON RAMADHAN SIDIK
183110437

ABSTRAK

Material yang umum digunakan sebagai *filler* pada campuran perkerasan lentur adalah abu batu, dimana persediannya terbatas dan harga yang relatif mahal. Oleh sebab itu, perlu adanya penelitian menggunakan bahan alternatif lain sebagai pengganti *filler* yaitu abu fiber kelapa sawit yang merupakan limbah dari pengolahan kelapa sawit. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan *filler* abu fiber kelapa sawit dalam campuran AC-BC.

Penelitian ini dilakukan menggunakan Spesifikasi Bina Marga 2018 dan menggunakan metode *Marshall Test*. Persentase penggunaan *filler* abu fiber kelapa sawit yaitu 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%.

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kadar aspal optimum yaitu 5,67%. Semakin besar campuran komposisi *filler* abu fiber kelapa sawit, maka nilai VMA dan VIM semakin rendah, sedangkan pada nilai VFA semakin tinggi. Nilai VMA, VIM dan VFA masih memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018. Nilai stabilitas pada variasi 0% dan 25% mengalami kenaikan dari 826,646 – 904,395Kg, namun pada variasi 50% hingga 100% mengalami penurunan dari 812,059 – 766,566Kg hingga melewati batas persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018. Namun pada variasi 50% masih memenuhi persyaratan. Pada nilai *flow* pada variasi 0% dan 25% mengalami penurunan dari 3,93 – 3,57mm, namun pada variasi 50% hingga 100% mengalami kenaikan dari 4,10 – 4,63mm hingga melewati batas persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018. Pada semua variasi *filler* yang digunakan, hanya pada variasi 0% dan 25% yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018. Sedangkan untuk variasi maksimum dari campuran *filler* abu fiber kelapa sawit didapat pada variasi 25% dengan nilai VMA sebesar 117,473%, VIM sebesar 4,780%, VFA sebesar 72,644%, Stabilitas sebesar 904,395 Kg dan Flow 3,57 mm.

Kata Kunci : AC-BC, Karakteristik *Marshall*, *Filler*, Abu Fiber Kelapa Sawit, Spesifikasi Bina Marga 2018

**THE EFFECT OF THE UTILIZATION OF PALM OIL FIBER AS A
FILLER ON MARSHALL CHARACTERISTICS ON ASPHALT
CONCRETE MIXTURE - BINDER COURSE
(AC – BC)**

RISKON RAMADHAN SIDIK
183110437

ABSTRACT

The material commonly used as a filler in flexible pavement mixtures is stone ash, where the supply is limited and the price is relatively expensive. Therefore, there is a need for research using other alternative materials as a substitute for filler, namely palm fiber ash which is a waste from palm oil processing. The purpose of this study was to determine the effect of using palm fiber ash filler in the AC-BC mixture.

This research was conducted using the 2018 Highways Specification and using the Marshall Test method. The percentages of using oil palm fiber ash filler are 0%, 25%, 50%, 75% and 100%.

Based on the results of the study, the optimum asphalt content was 5.67%. The larger the mixture of palm fiber ash filler composition, the lower the VMA and VIM values, while the higher the VFA value. The values of VMA, VIM and VFA still meet the requirements of the 2018 Highways Specification. The value of stability in the 0% and 25% variations has increased from 826,646 – 904,395Kg, but in the 50% to 100% variation it has decreased from 812,059 – 766,566Kg until it exceeds the required limit. Bina Marga 2018 specifications. However, the 50% variation still meets the requirements. The flow value in the 0% and 25% variation decreased from 3,93 – 3,57mm, but in the 50% to 100% variation it increased from 4,10 – 4,63mm until it exceeded the requirements of the 2018 Highways Specification. the variation of the filler used, only at variations of 0% and 25% that meet the requirements of the 2018 Highways Specification. As for the maximum variation of the oil palm fiber ash filler mixture, it is obtained at a variation of 25% with a VMA value of 117,473%, VIM of 4,780%, VFA by 72,644%, Stability of 904,395 Kg and Flow of 3,57mm.

Kata Kunci : AC-BC, Marshall Characteristics, Filler, Palm Fiber Ash, Bina Marga Specifications 2018

KATA PENGANTAR

Assalammu'alaikumWr. Wb.

Alhamdulillahrabbi'l'amin, puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah yang diberikan-Nya, sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini.

Penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik Progam Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau, Pekanbaru. Adapun judul dari penulisan tugas akhir ini adalah "**Pengaruh Pemanfaatan Abu Fiber Kelapa Sawit Sebagai *Filler* Terhadap Karakteristik *Marshall* Pada Campuran *Asphalt Concrete - Binder Course (AC – BC)*".**

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan yang dibuat baik sengaja maupun tidak sengaja, dikarenakan keterbatasan ilmu pengetahuan dan wawasan serta pengalaman yang penulis miliki. Untuk itu penulis mohon maaf atas segala kekurangan tersebut tidak menutup diri terhadap segala saran dan kritik serta masukan yang bersifat konstruktif bagi diri penulis. Akhir kata semoga dapat bermanfaat bagi penulis sendiri, institusi pendidikan dan masyarakat luas. Amin

Wassalamu'alaikum wr, wb.

Pekanbaru, 02 Agustus 2022

Riskon Ramadhan Sidik

NPM. 183110437

UCAPAN TERIMAKASIH

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Syukur Alhamdulillah segala puji bagi Allah SWT yang telah begitu banyaknya melimpahkan Rahmat dan Karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini. Penulisan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Penulis menyadari bahwa penelitian tidak akan terwujud tanpa adanya dorongan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam penulisan dan penyelesaian Tugas Akhir ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Syafrinaldi SH., MCL, selaku Rektor Universitas Islam Riau.
2. Bapak Dr. Eng Muslim, ST, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau .
3. Ibu Drs. Mursyidah, Ssi., MSc, selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
4. Bapak Dr. Anas Puri, ST., MT, selaku Wakil Dekan II Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
5. Bapak Ir. Akmar Efendi, S.Kom., M.Kom, selaku Wakil Dekan III Teknik Universitas Islam Riau.
6. Ibu Harmiyati ST., M.Si, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau dan sekaligus sebagai Dosen Penguji.
7. Ibu Sapitri, ST, MT, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
8. Ibu Roza Mildawati, ST., MT selaku Dosen Pembimbing.
9. Ibu Vella Anggreana, ST., MT, selaku Dosen Penguji.
10. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
11. Seluruh Staff Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
12. Penghargaan setinggi - tingginya kepada bapak Muhammad Syafii dan ibu Zulmawati selaku orang tua serta Amalia selaku kakak, yang selalu memberikan nasehat-nasehat dan bantuan moril maupun finansial.

13. Buat teman dan sahabat Harry, Rudi, Heru, Fadel, Indra, Anwar, Adin, April, Lisa, Umuk, Nisa, Aziz, serta rekan-rekan baik dari sipil B dan seluruh Mahasiswa Teknik Sipil Angkatan 2018 Universitas Islam Riau dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Terima Kasih atas segala bantuannya. Semoga penelitian ini bermanfaat bagi kita semua dan semoga amal baik kita mendapatkan balasan yang setimpal dari Allak SWT. Amin ...

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Pekanbaru, 02 Agustus 2022

Penulis

Riskon Ramadhan Sidik

NPM. 183110437

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	iii
UCAPAN TERIMAKASIH.....	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR NOTASI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Umum	5
2.2 Penelitian Sebelumnya	5
2.3 Keaslian Penelitian	8
BAB III LANDASAN TEORI	
3.1 Perkerasan Jalan	9
3.2 Perkerasan Lentur	9
3.2.1 Lapis Tanah Dasar (<i>Sub Grade</i>)	10
3.2.2 Lapis Pondasi Bawah (<i>Sub Base Course</i>)	10
3.2.3 Lapis Pondasi (<i>Base Course</i>)	11
3.2.4 Lapis Permukaan (<i>Surface Course</i>)	13
3.3 Aspal	13
3.3.1 Jenis Aspal	14
3.3.2 Komposisi Aspal	17
3.3.3 Mutu Aspal	18

3.3.4 Kadar Aspal Dalam Campuran	19
3.3.5 Beton Aspal	20
3.4 Agregat	22
3.4.1 Berdasarkan Kelompok Terjadinya	22
3.4.2 Berdasarkan Pengolahannya	23
3.4.3 Berdasarkan Ukuran Butirannya	24
3.5 Pengujian Sifat dan Kualitas Agregat	24
3.6 Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)	25
3.6.1 Abu Fiber Kelapa Sawit	26
3.7 Gradasi Agregat	27
3.8 Karakteristik Campuran	28
3.9 Karakteristik <i>Marshall</i>	29
3.10 Cara Analisa	30

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian	34
4.2 Bahan Penelitian	34
4.3 Peralatan Penelitian	35
4.3.1 Peralatan Pengujian Analisa Saringan.....	45
4.3.2 Peralatan Pengujian Berat Jenis	45
4.3.3 Peralatan Pembakaran Fiber kelapa Sawit	46
4.3.4 Peralatan Penyaringan Hasil Pembakaran Fiber Kelapa Sawit.....	46
4.3.5 Peralatan Pembuatan Benda Uji	46
4.3.6 Peralatan Pengujian <i>Marshall</i>	47
4.4 Proses Pengambilan Material	47
4.5 Tahap Penelitian	48
4.6 Pengujian Agregat	52
4.6.1 Pengujian Analisa Saringan	52
4.6.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan	53
4.7 Pengolahan Abu Fiber Kelapa Sawit	55
4.8 Prosedur Pembuatan Benda Uji atau Briket Aspal	55

4.9 Pengujian <i>Marshall</i>	56
-------------------------------------	----

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Material	57
5.1.1 Hasil Distribusi Ukuran Butiran Agregat	57
5.1.2 Hasil Perhitungan Gabungan Agregat	58
5.1.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar dan Agregat Halus	59
5.1.4 Hasil Pengujian Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)	60
5.1.5 Pengujian Aspal.....	60
5.1.6 Hasil Perhitungan Perkiraan Awal Kadar Aspal (Pb)	61
5.2 Pembuatan Benda Uji	61
5.3 Hasil Pengujian <i>Marshall</i>	62
5.3.1 Rongga Dalam Mineral Agregat (<i>Void in Mineral Agregat / VMA</i>)	65
5.3.2 Rongga Terisi Aspal (<i>Void Filler with Asphalt / VFA</i>)	66
5.3.3 Rongga Dalam campuran (<i>Void In the Mix / VIM</i>).....	67
5.3.4 Stabilitas	68
5.3.5 Kelelehan (<i>Flow</i>).....	70

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan	72
6.2 Saran	73

DAFTAR PUSTAKA	74
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN

DAFTAR NOTASI

AC	= <i>Asphalt Concrete</i>
AC-BC	= <i>Asphalt Concrete - Binder Course</i>
App	= Bera jenis <i>apparent</i> gabungan
ASTM	= <i>American Standart for Testing Material</i>
B	= Berat piknometer yang berisi air (gram)
Ba	= Berat benda uji dalam air (gram)
Bj	= Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)
Bk	= Berat benda uji kering oven (gram)
Bt	= Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)
c	= Berat benda uji sebelum direndam (gram)
CA	= Kadar agregat kasar tertahan saringan No. 8 (%)
CBR	= <i>California Bearing Ratio</i>
d	= Berat benda uji jenuh air (gram)
e	= Berat benda uji dalam air (gram)
f	= Isi benda uji (ml)
FA	= Kadar agregat halus lolos saringan No. 8 dan tertahan saringan No.200 (%)
FF	= Kadar agregat pengisi lolos saringan No. 200 (%)
g	= Berat isi benda (gram/ml)
i	= Persentase volume aspal (%)
J	= Persentase volume agregat (%)
K	= Konstanta
KAO	= Kadar aspal optimum
Laston	= Lapisan Aspal Beton
MC	= <i>Medium curing cut back asphalt</i>
MS	= <i>Medium Setting</i>
P	= Kalibrasi proving ring pada
Pb	= Perkiraan kadar aspal terhadap campuran (%)
r	= Nilai kelelehan (mm)
RC	= <i>Rapid curing cut back asphalt</i>

RS	= <i>Rapid Setting</i>
S	= Nilai stabilitas terpasang (Kg)
SC	= <i>Slow curing cut back asphalt</i>
SE	= <i>Sand Equivalent</i>
SiO ₂	= Silika
SMA	= <i>Stone Matrix Asphalt</i>
SS	= <i>Slow Setting</i>
TBS	= Tandan Buah Segar
U	= Berat jenis <i>bulk</i> gabungan (gram/cm ³)
V	= Berat jenis efektif (gram)
VFA	= <i>Void Filled Asphalt</i> (%)
VIM	= <i>Void In the Mix</i> (%)
VMA	= <i>Void in Mineral Aggregate</i> (%)
0	= Nilai pembacaan arloji stabilitas
1	= Persentase rongga agregat
500	= Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Persyaratan Untuk Aspal Keras Penetrasi 60/70	15
Tabel 3.2	Tebal Nominal Minimum Campuran Beraspal	17
Tabel 3.3	Komponen Fraksional Aspal di Indonesia	18
Tabel 3.4	Ketentuan Sifat – sifat Campuran Laston AC	21
Tabel 3.5	Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal	27
Tabel 5.1	Persen Lolos Agregat	57
Tabel 5.2	Hasil Gradasi Agregat Gabungan Campuran AC-BC.....	58
Tabel 5.3	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	59
Tabel 5.4	Hasil Pengujian Aspal	60
Tabel 5.5	Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal Penetrasi 60/70.....	61
Tabel 5.6	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Campuran AC-BC.....	62
Tabel 5.7	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Campuran AC-BC dengan <i>Filler</i> Abu Fiber Kelapa Sawit Terhadap Kadar Aspal Optimum.....	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Susunan Lapisan Perkerasan Lentur	10
Gambar 3.2	Diagram Penentuan Kadar Aspal Optimum	19
Gambar 4.1	Saringan	35
Gambar 4.2	Pan dan Cover (Penutup)	36
Gambar 4.3	Timbangan	36
Gambar 4.4	Cawan	37
Gambar 4.5	Kuas	37
Gambar 4.6	Timbangan yang Dilengkapi dengan Alat Penggantung Keranjang	38
Gambar 4.7	Keranjang Kawat	38
Gambar 4.8	Labu Ukur (Piknometer)	39
Gambar 4.9	Sendok Pengaduk	39
Gambar 4.10	Tabung Gas dan <i>Torch</i> Gas	40
Gambar 4.11	Tong	40
Gambar 4.12	Besi atau Kayu	41
Gambar 4.13	Seng	41
Gambar 4.14	Cetakan (Mold)	42
Gambar 4.15	Alat pengeluar benda uji (<i>extruder</i>)	42
Gambar 4.16	Kompor	43
Gambar 4.17	<i>Thermometer</i>	43
Gambar 4.18	Alat Penumbuk	44
Gambar 4.19	Bak perendam (<i>water bath</i>)	44
Gambar 4.20	<i>Marshall Test</i>	45
Gambar 4.21	Bagan Alir Penelitian <i>Ashalt Concrete – Binder Course</i> (AC-BC)	50
Gambar 4.22	Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian	52
Gambar 5.1	Grafik Gradasi Agregat Gabungan Campuran AC-BC	59
Gambar 5.2	Diagram Kadar Aspal Optimum	63
Gambar 5.3	Hubungan VMA dengan <i>Filler</i> Abu Fiber Kelapa Sawit Pada KAO	65

Gambar 5.4	Hubungan VFA dengan <i>Filler</i> Abu Fiber Kelapa Sawit Pada KAO.....	66
Gambar 5.5	Hubungan VIM dengan <i>Filler</i> Abu Fiber Kelapa Sawit Pada KAO.....	67
Gambar 5.6	Hubungan Stabilitas dengan <i>Filler</i> Abu Fiber Kelapa Sawit Pada KAO.....	69
Gambar 5.7	Hubungan <i>Flow</i> dengan <i>Filler</i> Abu Fiber Kelapa Sawit Pada KAO.....	70



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan dan pertumbuhan penduduk di Provinsi Riau mengalami peningkatan yang cukup tinggi. Seiring dengan penambahan penduduk menyebabkan mobilitas penduduk meningkat sehingga banyak kendaraan besar bermunculan di jalan raya. Jalan merupakan salah satu sarana paling penting dalam suatu wilayah. Jalan berfungsi menghubungkan antara daerah satu dengan daerah lainnya untuk berbagai keperluan, baik dari segi ekonomi, sosial, budaya, pemerintahan, dan sebagainya. Agar seluruh kegiatan berjalan lancar nyaman digunakan, maka jalan hendaknya direncanakan sesuai dengan kondisi di lapangan dan aturan yang ada.

Perkembangan konstruksi jalan raya dari waktu ke waktu terus meningkat. Peningkatan tersebut khususnya pada lapisan permukaan. Semakin bagus perkerasan jalan akan berdampak pada kebutuhan material yang terus bertambah. Untuk itu desain campuran aspal harus mendapatkan kadar aspal yang cukup untuk melindungi seluruh partikel agregat dan juga dapat mengisi rongga butir secukupnya sesuai desain, sehingga perkerasan dapat berumur lama.

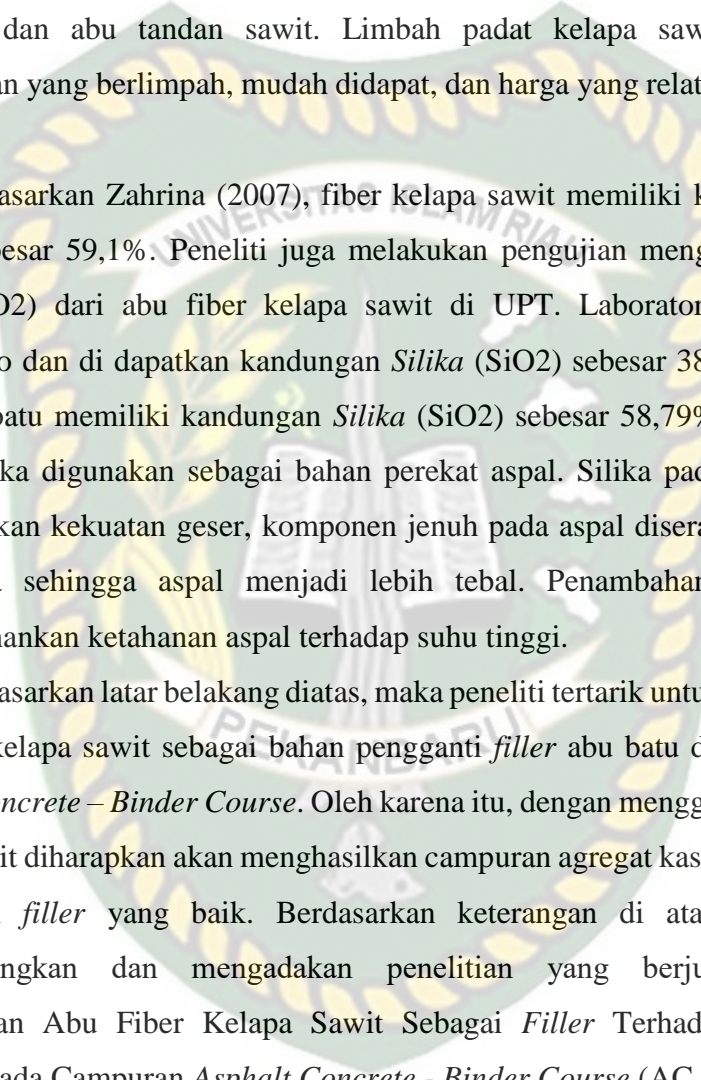
Campuran aspal beton (*Asphalt Concrete*) di Indonesia dikenal dengan Laston (Lapisan Aspal Beton) atau lapis permukaan struktural merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal keras yang dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas dengan suhu tertentu (DPUPR, 2014). Material perkerasan jalan merupakan salah satu faktor utama yang menentukan kestabilan perkerasan jalan, untuk itu perkerasan harus dibuat dari bahan dengan kualitas yang baik.

Material yang umum digunakan sebagai *filler* pada campuran perkerasan lentur salah satunya adalah abu batu, yang mana persediannya terbatas dan harga yang relatif mahal. Oleh karena itu, perlu ditemukan alternatif pemanfaatan bahan-bahan lain dengan kualitas yang baik, namun memiliki harga yang relatif lebih murah. Oleh sebab itu, dalam hal ini peneliti ingin menggunakan jenis *filler* yang

lain, yaitu abu fiber kelapa sawit. Abu fiber kelapa sawit ini didapatkan dari proses pembakaran fiber kelapa sawit sehingga kemudian menjadi abu.

Kelapa sawit adalah salah satu produk perkebunan yang paling umum dijumpai di daerah provinsi Riau dan sekitarnya. Dari pengolahan kelapa sawit terdapat beberapa limbah padat yang dihasilkan, yaitu tandan kosong, serat (fiber), cangkang dan abu tandan sawit. Limbah padat kelapa sawit ini memiliki ketersediaan yang berlimpah, mudah didapat, dan harga yang relatif murah (Kurnia dkk, 2017)

Berdasarkan Zahrina (2007), fiber kelapa sawit memiliki kandungan *Silika* (SiO_2) sebesar 59,1%. Peneliti juga melakukan pengujian mengenai kandungan *Silika* (SiO_2) dari abu fiber kelapa sawit di UPT. Laboratorium Universitas Diponegoro dan di dapatkan kandungan *Silika* (SiO_2) sebesar 38,2%. Sedangkan pada abu batu memiliki kandungan *Silika* (SiO_2) sebesar 58,79% (Muhardi dkk, 2014). Silika digunakan sebagai bahan perekat aspal. Silika pada aspal berguna meningkatkan kekuatan geser, komponen jenuh pada aspal diserap kedalam pori-pori silika sehingga aspal menjadi lebih tebal. Penambahan silika mampu mempertahankan ketahanan aspal terhadap suhu tinggi.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka peneliti tertarik untuk memanfaatkan abu fiber kelapa sawit sebagai bahan pengganti *filler* abu batu dalam perkerasan *Asphalt Concrete – Binder Course*. Oleh karena itu, dengan menggunakan abu fiber kelapa sawit diharapkan akan menghasilkan campuran agregat kasar, agregat halus, aspal, dan *filler* yang baik. Berdasarkan keterangan di atas penulis ingin mengembangkan dan mengadakan penelitian yang berjudul “Pengaruh Pemanfaatan Abu Fiber Kelapa Sawit Sebagai *Filler* Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran *Asphalt Concrete - Binder Course* (AC – BC)”.


1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Berapa nilai kadar aspal optimum yang memenuhi Karakteristik *Marshall* dalam campuran *Asphalt Concrete - Binder Course* ?
2. Bagaimana karakteristik *marshall* terhadap penggunaan abu fiber kelapa sawit sebagai *filler* dengan persentasi penggunaan *filler*, yaitu (100% abu

fiber kelapa sawit), (75% abu fiber kelapa sawit + 25% abu batu), (50% abu fiber kelapa sawit + 50% abu batu), (25% abu fiber kelapa sawit + 75% abu batu), dan (100% abu batu) pada campuran *Asphalt Concrete - Binder Course* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui nilai kadar aspal optimum pada campuran *Asphalt Concrete - Binder Course*.
2. Mengetahui karakteristik *marshall* mengenai pengaruh penggunaan abu fiber kelapa sawit sebagai *filler* dengan persentasi penggunaan *filler*, yaitu (100% abu fiber kelapa sawit), (75% abu fiber kelapa sawit + 25% abu batu), (50% abu fiber kelapa sawit + 50% abu batu), (25% abu fiber kelapa sawit + 75% abu batu), dan (100% abu batu) pada campuran *Asphalt Concrete - Binder Course*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Bagi instansi terkait, dapat dijadikan sebagai bahan masukan dalam perencanaan campuran material perkerasan jalan untuk mengkaji lebih lanjut nilai ekonomis campuran aspal beton dengan bahan pengisi abu fiber kelapa sawit.
2. Untuk industri aspal beton, jika hasil penelitian ini mencapai hasil yang baik, maka di masa depan dimungkinkan untuk memproduksi aspal beton dengan penambahan abu fiber kelapa sawit dapat di produksi.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Campuran yang diteliti adalah *Asphalt Concrete - Binder Course* dengan menggunakan spesifikasi Bina Marga 2018.
2. Menggunakan komposisi persentasi penggunaan *filler*, yaitu (100% abu fiber kelapa sawit), (75% abu fiber kelapa sawit + 25% abu batu), (50%

abu fiber kelapa sawit + 50% abu batu), (25% abu fiber kelapa sawit + 75% abu batu), dan (100% abu batu).

3. Pengujian dilakukan dengan metode *Marshall* (SNI 06 – 2489 – 1991).
4. Hanya meneliti sifat kimia berupa kandungan silika dari bahan abu fiber kelapa sawit.
5. Bahan pengisi (*filler*) yang digunakan adalah abu fiber kelapa sawit dimana fiber kelapa sawit berasal dari PT. Adimulia Agrolestari di Desa Sukamaju Kec. Singingi Hilir Kab. Kuantan Singingi.
6. Bahan pengikat menggunakan *Asphalt Concrete* (AC) penetrasi 60/70 milik PT Inti Indokomp yang berasal dari PT. Rabana Aspalindo Dumai.
7. Agregat kasar yang digunakan milik PT Inti Indokomp yang berasal dari *quary* Suban, Jambi.
8. Pasir yang digunakan milik PT Inti Indokomp yang berasal dari *quary* Japura, Indragiri Hulu.
9. Abu batu yang digunakan milik PT Inti Indokomp yang berasal dari *quary* Tanjung Balai Karimun, Kepulauan Riau.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Tinjauan pustaka memuat uraian sistematis tentang pustaka dan hasil-hasil penelitian yang didapat oleh peneliti, serta memiliki hubungan erat dengan penelitian yang akan dilakukan. Penelitian ini hanya memiliki kesamaan dari segi teori yang berhubungan dengan judul penelitian ini, namun memiliki beberapa perbedaan dari penelitian sebelumnya, yaitu dari jenis *filler* yang digunakan, lokasi pengambilan material, komposisi campuran dan spesifikasi yang digunakan.

2.2 Penelitian Sebelumnya

Dalam penelitian ini akan dipaparkan beberapa hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang sedang dilakukan, yaitu sebagai berikut :

Fahmi, dkk (2021), telah melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Pengaruh Aspal Modifikasi Dengan Penambahan Abu Cangkang Sawit Terhadap Kinerja Perkerasan Aspal”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan abu cangkang sawit sebagai *filler* terhadap kinerja *marshall* dengan persentase 1%, 2% dan 3% dari berat campuran dan menggunakan aspal penetrasi 60/70. Metode yang digunakan berdasarkan spesifikasi AASHTO dan Bina Marga 2018. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan nilai rata-rata pengujian *marshall* pada benda uji dengan kadar *filler* 1% yaitu 290 kn/mm, nilai *marshall* pada benda uji dengan kadar *filler* 2% yaitu 293 kn/mm, dan nilai *marshall* pada benda uji dengan kadar *filler* 3% yaitu 296 kn/mm. Dari hasil pengujian tersebut semua sudah memenuhi syarat dari Bina Marga serta penambahan abu cangkang kelapa sawit pada pembuatan benda uji tidak mempengaruhi standarisasi campuran aspal sehingga penggunaan abu cangkang sawit memiliki karakteristik yang sesuai dengan campuran aspal.

Abdillah, dkk (2020), telah melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Pemakaian Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit pada Campuran Aspal Terhadap Stabilitas”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan hasil kuat tekan dengan adanya penambahan tandan kosong tanaman kelapa sawit terhadap agregat

sebanyak 5%, 10%, dan 15% dan pengaruh perbandingan penambahan serat tandan kosong kelapa sawit terhadap AC-WC yang memakai campuran (5%, 10% dan 15%) dan yang normal. Metode pengujian yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 revisi 3. Hasil dari penelitian ini didapatkan, pada kadar 5% memiliki nilai stabilitas 995 kg, pada kadar 10% nilainya 660 kg, dan pada kadar 15% nilainya 545 kg. Perbandingan penggunaan limbah serat tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan tambah agregat dalam campuran aspal AC-WC, ternyata dari kadar 5% 10% dan 15% tidak dapat mencapai kekuatan, sedangkan untuk aspal normal hasilnya memenuhi spesifikasi dapat dilihat dari hasil penelitian aspal normal nilai *stability* nya 1430 kg, nilai *flow* 3,73 mm, nilai VIM 4,07%, nilai VMA 16,72%, dan nilai VFA 75,70%.

Alwi, dkk (2020), telah melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Penggunaan Abu Cangkang Kelapa Sawit Sebagai *Filler* Terhadap Karakteristik *Marshall* Pada Campuran *Asphalt Concrete – Binder Course* (AC-BC)”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat-sifat *Marshall* dan menentukan kadar aspal yang optimum dengan menggunakan abu cangkang kelapa sawit sebagai bahan pengganti *filler*. Dalam Penelitian ini, dibuat benda uji *Marshall* dengan variasi abu cangkang kelapa sawit sebagai pengganti *filler* pada kadar 2%, 3%, 4%, 5% dan 6% serta kadar aspal rencana 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6%. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan penggunaan abu cangkang kelapa sawit sebagai bahan pengganti *filler* pada AC-BC maksimum sebesar 5% dan nilai Kadar Aspal Optimum sebesar 5,19% dengan karakteristik *Marshall* meliputi nilai stabilitas 1940 kg, *flow* 3,5%, VIM 3,80%, VMA 14,80%, VFA 73,00% dan MQ 560,00 kg/mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran AC-BC dan bahan pengganti *filler* menggunakan abu cangkang kelapa sawit memenuhi persyaratan lapisan aspal beton AC-BC.

Nofriandi (2020), telah melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Penambahan Abu Batang Jagung Terhadap Karakteristik *Marshall* Pada Aspal AC-WC”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan *filler* abu batang jagung dalam campuran AC-WC. Penelitian ini dilakukan menggunakan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (Revisi 2) dan menggunakan metode *Marshall Test*, persentase penggunaan *filler* abu batang jagung yaitu (100%

abu batu), (75% abu batu + 25% abu batang jagung), (50% abu batu + 50% abu batang jagung), (25% abu batu + 75% abu batang jagung), (100% abu batang jagung). Hasil pengujian analisa saringan diperoleh persentase pemakaian agregat kasar sebesar 20,16%, agregat medium 43,37 %, abu batu 28,09%, pasir 8,37% dan variasi kadar aspal dengan persentase 4,0%; 4,5%; 5,0%; 5,5%, dan 6,0%. Nilai kadar aspal optimum adalah 5,7%. Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan *filler* abu batang jagung pada aspal AC-WC memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2010 (Revisi 2) terhadap nilai karakteristik *Marshall*. Semakin besar persentase campuran *filler* abu batang jagung, maka nilai VMA dan VIM semakin rendah. Namun pada nilai VFA dan MQ semakin tinggi. Pada nilai *Flow* dan Stabilitas, nilai mengalami peningkatan dan penurunan yaitu pada variasi *filler* (100% abu batu) hingga (50% abu batu 50% abu batang jagung) nilai semakin tinggi, namun nilai stabilitas dan *flow* mengalami penurunan pada variasi *filler* (25% abu batu + 75% abu batang jagung) hingga (100% abu batang jagung) nilai semakin rendah. Untuk semua persentase campuran *filler*, persentase maksimal dari campuran *filler* abu batang jagung didapat dari campuran 50% abu batu + 50% abu batang jagung dengan nilai VMA sebesar 16,434%, VIM sebesar 3,880%, VFA sebesar 76,392%, Stabilitas sebesar 2529,413 Kg, *Flow* 3,52 mm dan MQ sebesar 719,264 kg/mm.

Kurnia, dkk (2017), telah melakukan penelitian yang berjudul “Pemanfaatan Limbah Cangkang Dan Abu Tandan Sawit Terhadap Karakteristik Laston *Wearing Course* Dan *Binder Course*”. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui nilai kadar aspal optimum (KAO) dan parameter *marshall* pada campuran standar, mengetahui pengaruh penambahan limbah sawit terhadap campuran benda uji serta mengetahui perbandingan nilai parameter *marshall* antara hasil campuran lapis AC-WC dan lapis AC-BC yang memanfaatkan limbah cangkang dan abu tandan sawit dengan benda uji standar. Metode pengujian yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 revisi 3. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan nilai KAO yang didapat dari benda uji standar sebesar 6,35% untuk lapis AC-WC dan 5,85% untuk lapis AC-BC. Untuk hasil pengujian *marshall* pada campuran limbah cangkang dan abu tandan sawit didapatkan parameter *marshall* tertinggi pada variasi campuran 25%. dengan nilai stabilitas pada AC-WC sebesar 1040,25 Kg dan AC-BC sebesar 1058,74 Kg, *Flow*

pada AC-WC 3,74 mm dan AC-BC 3,58 mm, VIM pada AC-WC 4,01% dan AC-BC 4,07%, VMA pada AC-WC 26,77% dan AC-BC 26,84%, VFA pada AC-WC 85,03% dan AC-BC 84,82%, MQ pada AC-WC 278,22 Kg/mm dan AC-BC 296,32 Kg/mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah sawit berupa cangkang dan abu tandan sawit sangat mempengaruhi parameterparameter *marshall*. Penggunaan limbah sawit berlebih dapat menurunkan kualitas campuran benda uji.

2.3 Keaslian Penelitian

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian lainnya adalah pada penelitian ini peneliti menggunakan abu fiber kelapa sawit sebagai bahan pengganti *filler* pada campuran *Asphalt Concrete - Binder Course* (AC – BC). Kriteria pengujian yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu menggunakan spesifikasi Bina Marga 2018. Dapat disimpulkan bahwa penelitian berbeda dengan penelitian sebelumnya.

BAB III LANDASAN TEORI

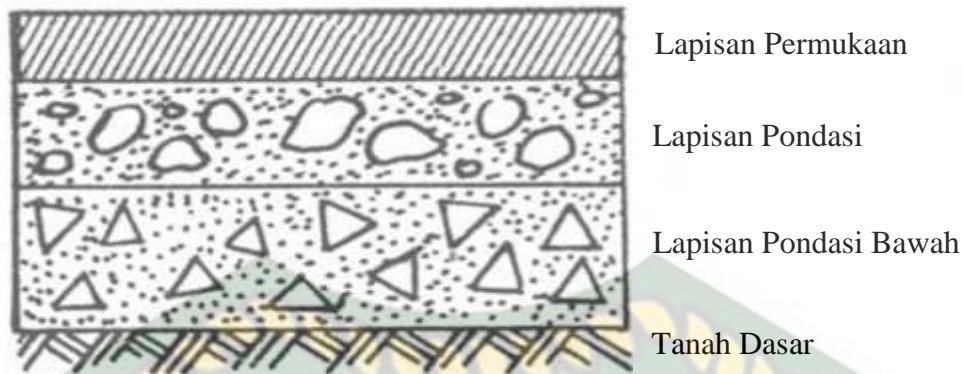
3.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah lapisan yang terletak di atas tanah dasar yang dipadatkan dan berfungsi untuk memikul beban lalu lintas, mendistribusikan beban baik secara horizontal maupun vertikal, dan akhirnya meneruskan beban ketanah dasar (*Subgrade*) sehingga beban pada tanah dasar tidak melampaui daya dukung tanah yang diijinkan. Permukaan jalan terdiri dari satu atau lebih lapisan material batuan dan pengikat. Bahan batuan dapat terdiri dari berbagai fraksi batuan yang dirancang untuk memenuhi persyaratan yang diperlukan (Sukirman, 1993).

Secara umum, konstruksi perkerasan jalan terdiri dari perkerasan lentur yang terbuat dari berbagai proporsi material batuan yang membentuk gradasi batuan sesuai kebutuhan dan diikat dengan bahan pengikat aspal, dan perkerasan kaku yang terdiri dari komponen batuan (agregat) kerikil dan pasir yang dicampur dan diikat oleh bahan pengikat berupa Semen Portland (PC).

3.2 Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir sebagai lapisan di bawahnya. Sehingga lapisan perkerasan tersebut mempunyai *flexibilitas* atau kelenturan yang dapat menciptakan kenyamanan kendaraan dalam melintas di atasnya. Perlu dilakukan kajian yang lebih intensif dalam penerapannya dan harus juga memperhitungkan secara ekonomis, sesuai dengan kondisi setempat, tingkat keperluan, kemampuan pelaksanaan dan syarat teknis lainnya, sehingga konstruksi jalan yang direncanakan itu adalah yang optimal (DPUPR, 2014).



Gambar 3.1 Susunan Lapisan Perkerasan Lentur (DPUPR, 2014)

Komponen Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*) terdiri dari beberapa lapisan perkerasan, yaitu (DPUPR, 2014) :

3.2.1 Lapis Tanah Dasar (*Sub Grade*)

Lapis Tanah Dasar adalah permukaan tanah asli atau permukaan tanah galian atau permukaan tanah timbunan, yang dipadatkan dan merupakan permukaan dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya.

Kekuatan dan daya tahan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Umumnya permasalahan yang menyangkut tanah dasar adalah sebagai berikut:

1. Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) dari tanah tertentu akibat beban lalu lintas.
2. Sifat mengembang dan menyusut dari tanah tertentu karena perubahan kadar air.
3. Daya dukung tanah yang tidak seragam dan sulit ditentukan secara pasti pada daerah dengan jenis tanah yang sangat berbeda sifat dan kedudukannya, atau akibat pelaksanaan.

3.2.2 Lapis Pondasi Bawah (*Sub Base Course*)

Lapis Pondasi Bawah merupakan bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar. Fungsi lapis pondasi bawah antara lain:

1. Sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban roda.

2. Mencapai efisiensi penggunaan material yang relatif murah dan memungkinkan mengurangi ketebalan lapisan yang tersisa (menghemat biaya konstruksi).
3. Untuk mencegah lapisan tanah meresap ke dalam lapisan pondasi.
4. Sebagai lapis pertama agar pelaksanaan dapat berjalan lancar.

Hal ini disebabkan karena terlalu lemahnya daya dukung tanah dasar terhadap roda-roda alat-alat besar atau karena kondisi lapangan yang memaksa harus segera menutup tanah dasar dari pengaruh cuaca.

Berbagai jenis tanah regional ($CBR > 20\%$, $PI < 10\%$) yang relatif lebih baik dari tanah dasar dapat digunakan sebagai bahan pondasi bawah. Dalam beberapa kasus, pencampuran tanah lokal dengan kapur atau semen Portland sangat dianjurkan untuk secara efektif mendukung stabilitas struktur beraspal.

3.2.3 Lapis Pondasi (*Base Course*)

Lapis Pondasi adalah perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dengan lapis pondasi bawah (atau tanah dasar jika lapis pondasi bawah tidak digunakan). Fungsi lapis pondasi atas adalah :

1. Sebagai bagian perkerasan yang menahan beban roda,
2. Sebagai perletakan terhadap lapis permukaan.

Bahan-bahan untuk lapisan pondasi atas umumnya harus cukup kuat dan tahan lama untuk menahan beban-beban roda. Sebelum menentukan suatu bahan yang akan digunakan sebagai bahan pondasi, disarankan untuk menyelidiki dan mempertimbangkan persyaratan teknis.

Berbagai material alam atau lokal ($CBR > 50\%$, $PI < 4\%$) dapat digunakan sebagai bahan lapis pondasi, antara lain : batu pecah, kerikil pecah dan stabilisasi tanah dengan semen atau kapur.

Berikut metode pelaksanaan pekerjaan AC-BC, yaitu :

1. Penyiapan lokasi yang akan dikerjakan. Aspal lama dibersihkan terlebih dahulu dengan *Compressor* angin.
2. Penghamparan aspal cair *tack coat* pada aspal lama. Pekerjaan *tack coat* hanya untuk setengah badan jalan terlebih dahulu, karena jalur

sebelahnya masih digunakan untuk lalu lintas kendaraan. Jangan lupa diberi rambu - rambu pekerjaan.

3. Membuat Marking dengan cat putih untuk area penghamparan.
4. Persiapan *Asphalt Mixing Plant* untuk memproduksi *hotmix*. Hal perlu disiapkan adalah stok material agregat hasil *Stone Crusher*, Aspal bitumen, Aspal cair untuk *tack coat*, dan beberapa mesin yang ada di AMP.
5. Setelah AMP siap, memulai pencampuran material agregat dan memasukkan aspal drum ke dalam ketel. Material agregat dimasukkan kedalam *cold bin* sesuai fraksi.
6. *Hotmix* yang sudah jadi langsung dimasukkan ke dalam *dump truck*
7. *Dump truck* berisi *hotmix* harus ditimbang terlebih dahulu di jembatan timbangan. Berat *hotmix* dan data-data aspal *hotmix* ditulis pada selembur kertas atau tiket yang di tanda tangani oleh konsultan pengawas dan kontraktor. konsultan akan meminta salinan tiket tersebut. Nantinya tiket ini akan dijadikan bukti perhitungan tagihan pekerjaan AC-BC.
8. Aspal *hotmix* AC-BC diangkut menuju lokasi penghamparan.
9. Hal yang perlu diperhatikan adalah suhu saat penghamparan harus terjaga sesuai spesifikasi.
10. Cek suhu aspal *hotmix* saat dihamparkan menggunakan termometer khusus. Jika suhu sudah sesuai maka mulai dihamparkan.
11. Penghamparan dan perataan menggunakan *asphalt finisher*. *Hotmix* dituang dari *dump truck*.
12. *Asphalt finisher* berjalan sesuai marking yang telah dibuat.
13. Perataan *hotmix* menggunakan *asphalt finisher* dibantu oleh tenaga harian (leker) untuk meratakan secara manual dan mengambil sisa *hotmix* untuk dimasukkan kembali ke paver.
14. Ukur ketebalan hamparan *hotmix* dan Cek kembali kemiringan melintang badan jalan (*cross fall*). Berdasarkan spesifikasi Umum Bina Marga, kemiringan sekitar 3%.
15. Setelah dihampar, pemadatan dengan *Tandem Roller* dan PTR (*Pneumatic Tire Roller*).

Berikut peralatan yang digunakan pada pelaksanaan pekerjaan AC-BC, yaitu:

1. *Asphalt Mixing Plant* + Laboratorium
2. Generator set
3. *Wheel Loader*
4. *Dump Truck*
5. *Asphalt Sprayer*
6. *Compressor*
7. *Tandem Roller*
8. *Asphalt Finisher*
9. *Pneumatic Tire Roller*
10. Alat pendukung lainnya

3.2.4 Lapis Permukaan (*Surface Course*)

Lapis Permukaan adalah bagian perkerasan yang paling atas. Fungsi lapis permukaan antara lain:

1. Sebagai bahan perkerasan untuk menahan beban roda
2. Sebagai lapisan rapat atau kedap air untuk melindungi badan jalan dari kerusakan akibat cuaca.
3. Sebagai lapisan aus (*wearing course*).

Bahan untuk lapis permukaan umumnya adalah sama dengan bahan untuk lapis pondasi, dengan persyaratan yang lebih tinggi. Penggunaan bahan aspal diperlukan agar lapisan tersebut tahan air, disamping itu bahan aspal sendiri memberikan bantuan tegangan tarik. Ini berarti meningkatkan kapasitas dukung beban lapisan terhadap beban roda dari lalu lintas jalan.

Untuk mendapatkan manfaat maksimal dari biaya yang dikeluarkan, perlu adanya pertimbangan mengenai pilihan bahan dalam hal kemudahan penggunaan, masa pakai, dan tahap konstruksi.

3.3 Aspal

Aspal adalah material utama pada konstruksi lapis perkerasan lentur (*Flexible Pavement*) jalan raya, yang berfungsi sebagai campuran bahan pengikat agregat, karena mempunyai daya lekat yang kuat, mempunyai sifat *adhesive*, kedap air dan

mudah dalam pengerjaannya (Hendarsin, 2000). Aspal merupakan material perekat berwarna hitam atau coklat tua dengan unsur utama bitumen. Aspal dapat diperoleh dialam ataupun merupakan residu dari penyulingan minyak bumi.

Aspal merupakan material yang umum digunakan sebagai bahan pengikat pada perkerasan jalan, oleh karena itu seringkali bitumen disebut juga sebagai aspal. Selain itu, aspal juga berfungsi untuk mengisi rongga antara butir agregat dan pori-pori agregat itu sendiri. Aspal bersifat *termoplastis* yaitu mencair jika dipanaskan dan membeku lagi ketika suhu turun. Sifat ini digunakan dalam proses konstruksi perkerasan jalan. Banyaknya kadar aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4 - 10% berdasarkan berat campuran, atau 10 - 15% berdasarkan volume campuran (Sukirman, 2016).

3.3.1 Jenis Aspal

Berdasarkan tempat diperolehnya, aspal dibedakan atas aspal alam dan aspal minyak, dengan penjelasan sebagai berikut (Sukirman, 2016) :

1. Aspal Alam

Aspal alam adalah aspal yang diperoleh langsung dari alam tanpa melalui serangkaian proses pengolahan yang rumit. Aspal berbentuk batuan alam dapat diperoleh di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara. Aspal alam yang bersifat plastis bisa ditemukan di Danau Pitch, Republik Trinidad. Sedangkan aspal yang memiliki wujud berada di sekitar perairan segitiga Bermuda. Berbeda dengan segitiga Bermuda yang mengandung aspal murni, kandungan aspal Pulau Buton dan Danau Pitch tidak murni dan bercampur dengan mineral yang lain.

2. Aspal Minyak

Aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu penyulingan 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 jalan umumnya digunakan aspal minyak jenis *asphaltic base crude oil*.

Aspal minyak dapat dibedakan atas aspal padat, aspal cair, aspal emulsi, dan *blown asphalt*.

a. Aspal Padat

Aspal padat merupakan hasil penyulingan minyak bumi yang kemudian disuling sekali lagi pada suhu yang sama tetapi dengan tekanan rendah (hampa udara), sehingga dihasilkan bitumen yang disebut *straightrunbitumen*. Aspal ini berbentuk setengah padat pada suhu ruang, dikenal dengan nama aspal semen.

Aspal dengan penetrasi yang rendah digunakan di daerah bercuaca panas dan lalu lintas padat, sedangkan aspal dengan penetrasi tinggi digunakan pada daerah bercuaca relatif dingin dan mempunyai volume lalu lintas yang rendah. Di Indonesia, umumnya digunakan aspal semen dengan penetrasi 60/70 dan 80/70 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Persyaratan Untuk Aspal Keras Penetrasi 60/70 (Bina Marga, 2018).

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Persyaratan
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70
2	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (°C)	SNI 06-6442-2000	-
3	Viskositas Kinematis 135 °C (cSt)	ASTM D2170-10	≥300
4	Titik Lember (°C)	SNI 2434:2011	≥48
5	Daktilitas pada 25 °C (cm)	SNI 2434:2011	≥100
6	Titik Nyala (°C)	SNI 2434:2011	≥232
7	Kelarutan Dalam <i>trichloroethylene</i>	AASHTO T44-14	≥99
8	Berat Jenis	SNI 2434:2011	≥1,0
9	Stabilotas Penyimpanan : Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-
10	Kadar Parafilin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤2

b. Aspal Cair

Aspal cair (*cutback asphalt*) adalah aspal yang berbentuk cair pada suhu ruang. Aspal cair merupakan semen aspal yang dicairkan dengan bahan pengencer dari hasil penyulingan minyak bumi seperti minyak tanah, bensin dan solar. Aspal cair membedakan bahan pencair menjadi :

1. *Rapid curing cut back asphalt* (RC), aspal cair yang menggunakan bensin sebagai bahan *likuidasi*. RC adalah aspal cair yang paling cepat menguap.
2. *Medium curing cut back asphalt* (MC), aspal cair dengan bahan pencair minyak tanah (*kerosene*).
3. *Slow curing cut back asphalt* (SC), aspal cair dengan bahan pencair solar (minyak disel). SC merupakan aspal cair yang paling lambat menguap.

c. Aspal Emulsi

Aspal emulsi (*emulsified asphalt*) adalah suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi, yang dilakukan di pabrik pencampur. Aspal emulsi ini lebih cair dari pada aspal cair. Dalam aspal emulsi, butiran aspal larut dalam air. Partikel tersebut kemudian diberi muatan listrik untuk mencegah partikel aspal menarik satu sama lain untuk membentuk partikel yang lebih besar. Aspal emulsi dapat dibedakan berdasarkan muatan listrik yang dikandungnya, yaitu :

1. Aspal kationik, juga dikenal sebagai aspal emulsi asam, merupakan aspal emulsi dimana butiran aspalnya bermuatan arus listrik positif.
2. Aspal anionik, juga dikenal sebagai aspal emulsi alkali, merupakan aspal emulsi yang butiran aspalnya bermuatan negatif.
3. Nonionik merupakan aspal emulsi yang tidak mengalami ionisasi, sehingga tidak mengantarkan listrik.

Berdasarkan kecepatan mengerasnya, aspal emulsi dapat dibedakan atas:

1. *Rapid Setting* (RS), aspal yang mengandung sedikit bahan pengemulsi sehingga pengikatan yang terjadi cepat, sehingga aspal cepat menjadi padat atau keras kembali.
 2. *Medium Setting* (MS)
 3. *Slow Setting* (SS), jenis aspal emulsi yang paling lambat mengeras.
- d. *Blown Asphalt*

Blown asphalt adalah Aspal yang dihasilkan dengan meniupkan udara ke dalam minyak residu atau minyak mineral yang sejenis, pada suhu yang relatif tinggi.

Tabel 3.2 Tebal Nominal Minimum Campuran Beraspal (Bina Marga, 2018).

Jenis Campuran		Simbol	Tebal Nominal Minimum (cm)
<i>Stone Matrix Asphalt</i> - Tipis		SMA - Tipis	3,0
<i>Stone Matrix Asphalt</i> - Halus		SMA - Halus	4,0
<i>Stone Matrix Asphalt</i> - Kasar		SMA - Kasar	5,0
Lataston	Lapis Aus	HRS - WC	3,0
	Lapis Fondasi	HRS - Base	3,5
Laston	Lapis Aus	AC - WC	4,0
	Lapis Antara	AC - BC	6,0
	Lapis Fondasi	AC - Base	7,5

3.3.2 Komposisi Aspal

Aspal terdiri dari senyawa hidrokarbon, nitrogen, dan logam lain, sesuai jenis minyak bumi dan proses pengolahannya. Secara garis besar komposisi aspal terdiri atas *asphaltenes*, *resins* dan *oils*. *Asphaltenes* merupakan material berwarna hitam atau coklat tua yang tidak larut dalam *nheptane*. *Resins* adalah cairan berwarna kuning atau coklat tua yang memberikan sifat adhesi dari aspal, merupakan bagian yang mudah hilang atau berkurang selama masa pelayanan jalan, sedangkan *oils*

yang berwarna lebih muda merupakan media dari *asphaltenes* dan resin (Sukirman, 2016).

Tabel 3.3 Komponen Fraksional Aspal di Indonesia (Sukirman, 2016)

Komponen Fraksional Aspal	Aspal Penetrasi 60/70
<i>Asphaltenes</i> (%)	22,41
<i>Nitrogen Bases</i> (%)	24,90
<i>Accidafin I (A₁)</i> (%)	14,50
<i>Accidafin II (A₂)</i> (%)	18,97
<i>Parafin</i> (%)	19,22

Aspal yang digunakan sebagai material perkerasan jalan yang berfungsi sebagai (Sukirman, 2016) :

1. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara aspal.
2. Bahan pengisi, mengisi rongga antara partikel agregat dan pori-pori partikel agregat itu sendiri.
3. Bahan pengikat antara lapisan pekerasan lama dengan lapis perkerasan baru.

3.3.3 Mutu Aspal

Aspal merupakan salah satu komponen utama dalam pembuatan campuran aspal beton, sehingga mutu aspal harus dikontrol. Mutu aspal ini sangat tergantung pada beberapa faktor :

1. Kepadatan atau kekentalan
2. Tingkat keawetan
3. Tahan cuaca karena perubahan suhu dan tahan air.

Jika mutu aspal dapat dikontrol dapat membantu pengikatan antar masing-masing agregat lebih kuat dan kompak. Dengan begitu maka perkerasan aspal akan dapat bertahan sesuai dengan umur rencana perkerasan jalan yang direncanakan.

3.3.4 Kadar Aspal Dalam Campuran

Kadar aspal adalah persentase berat aspal terhadap campuran agregat yang telah ditentukan. Karena kandungan aspal campuran biasanya ditentukan dalam spesifikasi karakteristik campuran, kadar aspal tengah digunakan untuk desain campuran di laboratorium. Kadar aspal tengah yaitu nilai tengah dan rentang kadar aspal dalam spesifikasi campuran.

Variasi kadar aspal untuk perancangan campuran ditentukan berdasarkan rumus pendekatan (Sukirman, 2016):

$$P_b = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% FF) + K \quad (3.1)$$

Dimana :

P_b = Perkiraan kadar aspal terhadap campuran (%)

CA = Kadar agregat kasar tertahan saringan No. 8 (%)

FA = Kadar agregat halus lolos saringan No. 8 dan tertahan saringan No.200(%)

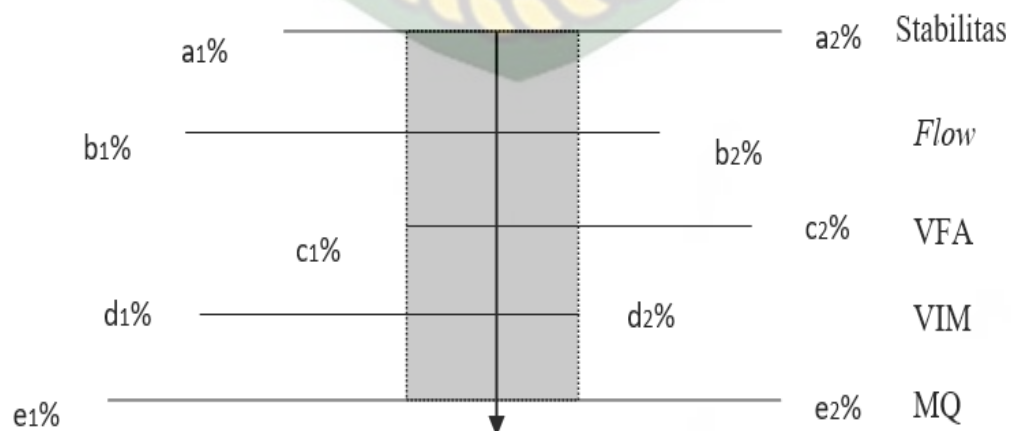
FF = Kadar agregat pengisi lolos saringan No. 200 (%)

K = Konstanta bernilai 0,5 - 1,0 untuk Laston

Konstanta bernilai 2,0 - 3,0 untuk Lataston

Dari perkiraan awal kadar aspal diperoleh nilai kadar aspal optimum yaitu nilai tengah dan rentang kadar aspal yang memenuhi spesifikasi campuran. Kadar aspal optimum (KAO) ditentukan setelah pengujian *Marshall*, dengan membuat diagram hubungan antara sifat teknis campuran yang paling berpengaruh (*Stabilitas*, *Flow*, *VMA*, *VFA*, *VIM* dan *MQ*) dengan persen kadar aspal.

Penentuan kadar aspal optimum ditentukan sesuai dengan persyaratan batasan sifat-sifat teknis campuran, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Penentuan Kadar Aspal Optimum (Sukirman, 1995)

Untuk membaca grafik di atas, dapat dilihat bahwa ada 5 parameter *Marshall* yaitu nilai stabilitas, *flow*, VIM, MQ dan VFA. Untuk mendapatkan nilai KAO dapat membagia antara nilai berbagai macam spesifikasi yang memenuhi antara penjumlahan batas kiri (a) dan batas kanan (b) lalu dibagi 2.

$$\text{Maka Kadar Aspal Optimum} = \frac{a+b}{2} \quad (3.2)$$

Dimana :

- a = Batas kiri
- b = Batas kanan
- a1% dan a2% = Nilai stabilitas
- b1% dan b2% = Nilai flow
- c1% dan c2% = Nilai VFA
- d1% dan d2% = Nilai VIM
- e1% dan e2% = Nilai MQ

3.3.5 Beton Aspal

Beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terbuat dari campuran homogen agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan. Bahan-bahan penyusun beton aspal dicampur pada temperatur tertentu di dalam *mixing plant*, diangkut ke lokasi, dihamparkan dan dipadatkan (Sukirman, 2016).

Jenis beton aspal campuran panas yang saat ini ada di Indonesia memiliki beberapa jenis, diantaranya (Sukirman, 2016) :

1. Laston (Lapisan Aspal Beton) adalah beton aspal yang umum digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas 1 – 10 juta ESA. Karakteristik beton aspal yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas. Sesuai fungsinya Laston terdiri dari 3 macam campuran yaitu :
 - a. Laston sebagai lapisan aus, dikenal dengan nama AC-WC (*Asphalt Concrete- Wearing Course*). Ukuran agregat maksimum = 19 mm dan tebal nominal minimum AC-WC adalah 4 cm.
 - b. Laston sebagai lapisan antara, dikenal dengan nama AC-BC (*Asphalt Concrete- Binder Course*). Ukuran agregat maksimum = 25,4 mm dan tebal nominal minimum AC-BC adalah 5 cm.

- c. Laston sebagai lapisan fondasi, dikenal dengan nama AC-base (*Asphalt Concrete-Base*). Ukuran agregat maksimum = 37,5 mm dan tebal nominal minimum AC-Base adalah 6 cm.
2. Laston dimodifikasi (*AC Modified*) menggunakan bahan aspal polimer atau aspal dimodifikasi dengan asbuton atau aspal multigrade disebut masing-masing sebagai *AC-WC Modified*, *AC-BC Modified*, dan *AC-Base Modified*.
3. Lataston (Lapisan Tipis Aspal Beton), adalah beton aspal bergradasi senjang dengan ukuran maksimum 19 mm di-tujukan untuk jalan dengan lalulintas rencana kurang dari 10 juta ESA, Lataston yang umum disebut dengan HRS (*Hot Rolled Sheet*) ini memiliki sifat durabilitas dan fleksibilitas yang lebih utama dibandingkan dengan sifat beton aspal lainnya.
4. Latasir (Lapisan Tipis Aspal Pasir), adalah beton aspal untuk jalan dengan lalu lintas ringan yaitu lalulintas rencana kurang dari 0,5 juta ESA, dan lokasi dimana agregat kasar tidak tersedia atau sulit diperoleh.
5. Lapisan perata adalah beton aspal yang digunakan sebagai lapisan perata untuk membentuk penampang melintang pada permukaan jalan lama.
6. SMA (*Split Mastic Asphalt*), adalah beton aspal bergradasi terbuka dengan selimut aspal yang tebal. Campuran ini menggunakan bahan tambahan berupa serat selulosa yang berfungsi untuk meningkatkan stabilitas campuran dan meningkatkan kadar aspal.

Tabel 3.4 Ketentuan Sifat – sifat Campuran Laston AC (Bina Marga, 2018).

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlag tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.	0,6		
	Maks.	1,2		
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3,0		
	Maks.	5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65	65	65

Lanjutan Tabel 3.4

Stabilitas <i>Marshall</i> (Kg)	Min.	800	1800
Pelelehan (mm)	Min.	2	3
	Maks.	4	6
Stabilitas <i>Marshall</i> Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min.	90	
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (<i>refusal</i>)	Min.	2	

3.4 Agregat

ASTM mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Sehingga kualitas perkerasan jalan ditentukan dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. Agregat dapat dibedakan berdasarkan beberapa hal (Sukirman, 2016).

3.4.1 Berdasarkan Kelompok Terjadinya

Berdasarkan proses terjadinya agregat dapat dibedakan atas batuan beku (*igneous rock*), batuan sedimen (*sedimentary rock*) dan batuan metamorfik (*metamorphic rock*).

1. Batuan beku (*igneous rock*)

Batuan beku (*igneous rock*) adalah agregat yang berasal dari magma yang mendingin dan mengeras. Batuan beku dibagi menjadi dua bagian yaitu batuan beku luar dan batuan beku dalam. Batuan beku luar (*extrusive igneous rock*) terbentuk dari magma yang keluar ke permukaan bumi di saat gunung berapi meletus, dan akibat pengaruh cuaca mengalami pendinginan dan membeku. Umumnya agregat beku luar berbutir halus seperti batu apung, *andesit*, *basalt*, *obsidian*, dan *pumice*. Batuan beku dalam (*intrusive igneous rock*) terbentuk dari magma yang tidak dapat keluar ke permukaan bumi, sehingga perlahan-

lahan mendingin dan mengeras di dalam bumi, dan ditemukan di permukaan bumi karena proses erosi dan atau gerakan bumi. Batuan beku dalam umumnya memiliki tekstur kasar seperti, *gabbro*, *diorit*, dan *syenit*.

2. Batuan sedimen (*sedimentary rock*)

Batuan sedimen (*sedimentary rock*) berasal dari campuran partikel mineral, sisa-sisa hewan dan tanaman yang mengalami pengendapan dan pembekuan. Pada umumnya merupakan lapisan-lapisan pada kulit bumi, hasil endapan di danau, laut dan sebagainya.

3. Batuan metamorfik (*metamorphic rock*)

Batuan metamorfik (*metamorphic rocks*) adalah batuan sedimen ataupun batuan beku yang mengalami proses perubahan bentuk akibat adanya perubahan tekanan dan temperatur kulit bumi.

3.4.2 Berdasarkan Pengolahannya

Berdasarkan pengolahannya agregat dapat dibedakan atas agregat siap pakai, dan agregat yang perlu diolah terlebih dahulu sebelum dipakai.

1. Agregat siap pakai atau agregat alam

Agregat siap pakai atau agregat alam adalah agregat yang dapat digunakan sebagai material perkerasan jalan dalam bentuk dan ukuran sebagaimana diperoleh dari lokasi asalnya, atau dengan sedikit proses pengolahan. Bentuk partikel agregat alam ditentukan berdasarkan proses yang dilaluinya. Aliran air menyebabkan erosi pada agregat, sehingga partikel agregatnya cenderung bulat dengan struktur permukaan yang licin. Proses pemecahan agregat di perbukitan membentuk agregat kasar bersudut. Ada dua bentuk dan ukuran agregat alam yang banyak digunakan sebagai bahan perkerasan jalan yaitu kerikil dan pasir.

2. Agregat yang perlu diolah terlebih dahulu sebelum dipakai

Agregat yang perlu diolah terlebih dahulu sebelum dipakai adalah agregat yang diperoleh dari bukit, gunung, atau sungai. Agregat ini umumnya memiliki ukuran yang besar dan masif sehingga agregat perlu

diolah terlebih dahulu dengan menggunakan tenaga manusia ataupun mesin pemecah batu sebelum dipergunakan untuk perkerasan jalan.

3.4.3 Berdasarkan Ukuran Butirannya

Berdasarkan ukuran butirnya agregat dapat dibedakan atas agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*) (Sukirman, 2016).

1. Agregat kasar

Berdasarkan ASTM dan Depkimpraswil dalam Spesifikasi Teknis Campuran Panas, 2010, agregat kasar adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan No.4 (4,75 mm) dan lebih kecil dari ayakan 1½ inci

2. Agregat halus

Berdasarkan ASTM dan Depkimpraswil dalam Spesifikasi Teknis Campuran Panas, 2010, agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan No.4 (4,75 mm) dan maksimum yang lolos ayakan No.200 (0,075 mm) adalah 10%.

3. Bahan pengisi (*filler*)

Berdasarkan ASTM dan Depkimpraswil dalam Spesifikasi Teknis Campuran Panas, 2010, menjelaskan bahwa Bahan pengisi (*filler*), adalah bagian dari agregat halus yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) minimum 75%

3.5 Pengujian Sifat dan Kualitas Agregat

Sifat dan kualitas agregat menentukan kemampuan agregat dalam menahan beban lalu lintas. Sebelum agregat dijadikan sebagai bahan perkerasan jalan, perlu adanya serangkaian pengujian untuk melihat sifat dan kualitas dari agregat tersebut, diantaranya :

1. Analisa saringan

Perhitungan analisa saringan adalah persentase sampel yang tertahan pada masing-masing saringan terhadap berat total sampel. Setiap agregat disaring untuk mengetahui susunan partikel (*gradasi*) dari agregat kasar, agregat halus dan *filler*.

2. Berat jenis agregat
 - a. Berat jenis (*Bulk Specific Gravity*) adalah perbandingan antara berat agregat kering dan air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu.
 - b. Berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry*) adalah perbandingan antara agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling antara agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering suhu tertentu.
 - c. Berat jenis semu (*Apparent Specific Gravity*) adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat keadaan kering pada suhu tertentu.
 - d. Penyerapan (*Absorption*) adalah persentase berat air yang bisa diserap oleh pori terhadap berat agregat kering.
3. Keausan (Abrasi)

Keausan adalah ketahanan agregat terhadap penghancuran akibat pengaruh mekanisme yang dinyatakan dengan perbandingan-perbandingan antara benda bahan yang aus lewat saringan No.12 terhadap berat benda uji semula dengan menggunakan mesin los angelas.
4. Kelekatan aspal terhadap agregat

Kelekatan aspal terhadap agregat adalah persentase dari perbandingan luas permukaan batuan yang diselimuti aspal, terhadap keseluruhan luas permukaan batuan.
5. *Sand Equivalent* (SE)

Sand equivalent adalah perbandingan antara skala agregat halus atau pasir dengan skala lumpur.

3.6 Bahan Pengisi (*Filler*)

Menurut Hardiyatmo (2007), bahan pengisi (*filler*) merupakan material berbutir halus yang lolos saringan No.200 (0,075 mm), dapat terdiri dari debu batu, kapur padam, semen Portland, atau bahan non-plastis lainnya. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-

gumpalan dan bila diuji dengan saringan sesuai SNI ASTM C136:2012, harus mengandung bahan yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya. Bahan pengisi ini berfungsi, yaitu :

1. Sebagai pengisi antara partikel agregat yang lebih kasar, sehingga rongga udara menjadi lebih kecil dan menghasilkan tahanan gesek serta penguncian antara butiran yang tinggi, dengan demikian akan meningkatkan stabilitas campuran.
2. Jika ditambahkan ke dalam aspal, bahan pengisi akan menjadi suspense, sehingga terbentuk mastic yang bersama-sama dengan aspal mengikat partikel agregat. Dengan penambahan bahan pengisi, aspal menjadi lebih kental, dan campuran agregat aspal menjadi bertambah kekuatannya.

3.6.1 Abu Fiber Kelapa Sawit

Bahan tambahan merupakan bahan-bahan yang ditambahkan kedalam campuran aspal pada saat atau selama pencampuran berlangsung. Fungsi dari bahan ini adalah untuk mengubah sifat-sifat pada campuran lapisan aspal agar menjadi lebih cocok untuk pekerjaan tertentu, meningkatkan kekuatan perkerasan jalan dan atau menghemat biaya.

Abu fiber kelapa sawit merupakan abu hasil pembakaran fiber kelapa sawit yang lolos saringan No. 200. Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas agribisnis di Indonesia yang perkembangannya cukup pesat dan telah menjadi primadona dalam sektor perkebunan. Sumber daya alam yang melimpah ini tersebar di berbagai wilayah, terutama di Sumatera dan Kalimantan. Perkembangan industri sawit yang terus meningkat akan berdampak pada limbah padat yang dihasilkan dari pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) (Suparma dkk, 2014). Salah satu limbah padat yang dihasilkan dari pengolahan kelapa sawit adalah fiber. Fiber merupakan bahan berbentuk serabut yang melindungi cangkang dan inti buah.

Dari pengujian yang dilakukan oleh peneliti di UPT. Laboratorium Universitas Diponegoro mengenai kandungan *Silika* (SiO_2) pada abu fiber kelapa sawit memiliki kandungan yang cukup tinggi, yakni sekitar 38,2%. Kadar *silika* yang cukup tinggi pada abu fiber kelapa sawit ini diharapkan dapat memberikan dampak positif pada kekuatan dalam campuran aspal.

3.7 Gradasi Agregat

Menurut (Sukirman, 2003) gradasi agregat adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya. Ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui pemeriksaan analisa saringan. Distribusi ini dibedakan menjadi 3 macam, yaitu:

1. Gradasi Seragam

Agregat yang mempunyai sama atau hampir sama disebut agregat seragam. Agregat ini mempunyai pori antar butir yang cukup besar, sehingga sering juga disebut agregat bergradasi terbuka.

2. Gradasi Senjang

Gradasi senjang merupakan gradasi dengan agregat yang tidak memiliki ukuran yang tak sama rata dan memiliki sela.

3. Gradasi Menerus

Gradasi menerus merupakan gradasi dengan agregat yang semua ukuran butirnya ada dan terdistribusi dengan baik. Agregat ini lebih sering digunakan dalam lapis perkerasan lentur. Untuk mendapatkan pori yang kecil dan kemampuan yang tinggi sehingga terjadi interlocking yang baik.

Tabel 3.5 Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal (Bina Marga, 2018).

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos Terhadap Total Agregat				
		Lataston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	WC	Base	WC	BC	Base
1½"	37,5					100
1"	25				100	90 – 100
¾"	19	100	100	100	90 – 100	76 – 90
½"	12,5	90 – 100	90 – 100	90 – 100	75 – 90	60 – 78
3/8"	9,5	75 – 85	65 – 90	77 – 90	66 – 82	52 – 71
No.4	4,75			53 – 69	46 – 64	35 – 54
No.8	2,36	50 – 72	35 – 55	33 – 53	30 – 49	23 – 41
No.16	1,18			21 – 40	18 – 38	13 – 30
No.30	0,600	35 - 60	15 - 35	14 – 30	12 – 28	10 – 22

Lanjutan Tabel 3.5

No.50	0,300			9 – 22	7 -20	6 – 15
No.100	0,150			6 – 15	5 – 13	4 - 10
No.200	0,075	6 - 10	2 - 9	4 - 9	4 - 8	3 - 7

3.8 Karakteristik Campuran

Campuran agregat dan aspal yang direncanakan harus memiliki karakteristik tertentu sehingga perkerasan jalan yang direncanakan dapat menahan kondisi cuaca ekstrim dan tekanan lalu lintas yang lewat serta pengguna jalan dapat merasa nyaman dan aman. Untuk itu setiap campuran aspal beton (AC) harus memiliki karakteristik sebagai berikut (Sukirman, 2016):

1. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan untuk menyerap beban lalu lintas tanpa adanya perubahan bentuk seperti gelombang, alur, bleeding, dan lain-lain secara permanen. Jalan dengan lalu lintas padat dan mayoritas terdiri dari kendaraan besar membutuhkan jalan yang sangat stabil dan sebaliknya.

2. Durabilitas/Keawetan (*Durability*)

Keawetan adalah kemampuan beton aspal menyerap beban lalu lintas berulang seperti berat kendaraan, gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, dan keausan yang disebabkan oleh pengaruh iklim seperti perubahan cuaca, udara, air, dan suhu. Keawetan beton aspal dipengaruhi oleh ketebalan lapisan aspal atau perkerasan, jumlah rongga dalam campuran, kepadatan dan kedap air campuran.

3. Kelenturan (Fleksibilitas)

Fleksibilitas adalah kemampuan beton aspal untuk beradaptasi dengan penurunan (konsolidasi atau *settlement*) pondasi atau penurunan tanah dasar tanpa terjadi retak. Penurunan tersebut disebabkan oleh beban lalu lintas berulang atau berat timbunan tanah asli. Peningkatan fleksibilitas dapat dicapai dengan menggunakan agregat yang bergradasi terbuka dan kadar aspal yang tinggi.

4. Ketahanan terhadap kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Ketahanan lelah adalah kemampuan beton aspal untuk menyerap defleksi berulang akibat beban lalu lintas yang berulang tanpa kelelahan berupa alur atau retakan. Hal ini dapat dicapai dengan persentase aspal yang tinggi.

5. Kekesatan permukaan atau ketahanan geser (*Skid Resistance*)

Ketahanan geser adalah kemampuan permukaan beton aspal untuk memberikan gaya gesek pada roda kendaraan dan mencegahnya agar tidak tergelincir atau selip, terutama pada saat basah. Faktor untuk mencapai kekesatan jalan sama dengan faktor untuk mencapai stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan partikel agregat, luas bidang kontak antar partikel, bentuk partikel, gradasi agregat, kepadatan campuran, ketebalan lapisan aspal dan ukuran maksimum partikel agregat.

6. Kedap air (*Impermeabilitas*)

Kedap air adalah kemampuan beton aspal untuk mencegah air dan udara menembus lapisan beton aspal. Banyaknya rongga yang tersisa setelah pemadatan beton aspal dapat menjadi indikator kedap udara dari campuran tersebut. Derajat impermeabilitas beton aspal berbanding terbalik dengan durabilitasnya.

7. Mudah untuk dilaksanakan (*Workability*)

Mudah dilaksanakan adalah kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas aspal, kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur, dan gradasi serta kondisi agregat.

3.9 Karakteristik *Marshall*

Karakteristik aspal campuran panas dapat diukur dengan menggunakan karakteristik Marshall yang diwakili oleh nilai-nilai berikut :

1. Stabilitas/*Stability*

Stabilitas adalah kemampuan suatu lapisan keras untuk menahan deformasi yang disebabkan oleh beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk yang permanen seperti gelombang, alur dan naiknya aspal ke permukaan.

2. Rongga Didalam Agregat/ *Void in Mineral Aggregate* (VMA)

VMA adalah rongga udara antara butir agregat dalam campuran agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif, yang merupakan persen volume rongga didalam agregat yang terisi oleh aspal, dinyatakan dalam persen terhadap total volume

3. Rongga Dalam Campuran / *Void In the Mix* (VIM)

VIM adalah persentase rongga yang terdapat dalam rongga campuran.

4. Rongga yang terisi aspal/ *Void Filled Asphalt* (VFA)

VFA adalah persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan.

5. Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan (*Flow*) adalah besarnya deformasi vertikal sampel yang terjadi pada awal pembebanan, yang mengurangi stabilitas. Hal ini menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapisan perkerasan akibat menahan beban yang diterima.

6. Kepadatan / *Density*

Density adalah tingkat kerapatan campuran setelah campuran dipadatkan.

3.10 Cara Analisa

Data yang diperoleh didapatkan dari penelitian yang dilakukan di laboratorium dianalisis dengan rumus sebagai berikut :

A. Berat Jenis

1. Berat jenis agregat kasar

$$a. \text{ Berat jenis} = \frac{Bk}{(Bj - Ba)} \quad (3.3)$$

$$b. \text{ Berat jenis kering permukaan} = \frac{Bj}{(Bj-Ba)} \quad (3.4)$$

$$c. \text{ Berat jenis semu} = \frac{Bk}{(Bk-Ba)} \quad (3.5)$$

$$d. \text{ Penyerapan air} = \frac{(Bj-Bk)}{Bk} \times 100\% \quad (3.6)$$

Dimana :

Bj = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)

Bk = Berat benda uji kering oven (gram)

Ba = Berat benda uji dalam air (gram)

2. Berat jenis agregat halus

$$a. \text{ Berat jenis} = \frac{Bk}{(B+500-Bt)} \quad (3.7)$$

$$b. \text{ Berat kering permukaan} = \frac{Bu}{(B+500-Bt)} \quad (3.8)$$

$$c. \text{ Berat jenis semu} = \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)} \quad (3.9)$$

$$d. \text{ Penyerapan air} = \frac{500-Bk}{Bk} \times 100\% \quad (3.10)$$

Dimana :

500 = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)

Bk = Berat benda uji kering oven (gram)

B = Berat piknometer yang berisi air (gram)

Bt = Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

3. Berat jenis *bulk* gabungan (U)

$$U = \frac{100}{\left(\frac{a}{Bja \text{ Bulk}}\right) + \left(\frac{a}{Bjb \text{ Bulk}}\right) + \left(\frac{a}{Bjc \text{ Bulk}}\right) + \left(\frac{a}{Bjd \text{ Bulk}}\right)} \quad (3.11)$$

4. Berat jenis *apparent* gabungan (App)

$$App = \frac{100}{\left(\frac{a}{Bja \text{ App}}\right) + \left(\frac{a}{Bjb \text{ App}}\right) + \left(\frac{a}{Bjc \text{ App}}\right) + \left(\frac{a}{Bjd \text{ App}}\right)} \quad (3.12)$$

5. Berat jenis efektif (V)

$$V = \frac{U+App}{2} \quad (3.13)$$

Dari data tersebut diperoleh harga *Density*, *Stabilitas*, dan *Marshall Quotient*.

6. Kelelehan (*Flow*)

Nilai *flow* = r

Didapatkan dari pembacaan arloji *flow* yang menyatakan deformasi benda uji dalam satuan 0,01 mm.

7. Stabilitas

Nilai stabilitas dari benda uji didapat dari pembacaan arloji stabilitas alat tekan *Marshall*. Angka ini dikoreksi dengan angka kalibrasi alat dan angka koreksi ketebalan benda uji.

Rumus stabilitas, yaitu :

$$Q = P \times 0 \times \text{koreksi volume benda uji} \quad (3.14)$$

Dimana :

P = Kalibrasi proving ring pada 0

0 = Nilai pembacaan arloji stabilitas

8. Density

Nilai *density* dihitung dengan rumus :

$$g = \frac{c}{f} \quad (3.15)$$

$$f = d - e \quad (3.16)$$

Dimana :

f = Isi benda uji (ml)

g = Berat isi benda (gram/ml)

c = Berat benda uji sebelum direndam (gram)

d = Berat benda uji jenuh air (gram)

e = Berat benda uji dalam air (gram)

9. Void In the Mix (VIM)

VIM adalah nilai persentase rongga udara yang ada dalam campuran, didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{VIM} = 100 - i - j \quad (3.17)$$

Dimana :

i = Persentase volume aspal

j = Persentase volume agregat

10. Void Filled with Asphalt (VFA)

VFA adalah nilai persentase rongga yang terisi aspal efektif, didapatkan dari rumus sebagai berikut :

$$\text{VFA} = \frac{i}{l} \quad (3.18)$$

Dimana :

i = Persentase volume aspal

l = Persentase rongga agregat

11. *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

VMA adalah nilai persentase rongga udara yang ada diantara butiran agregat dalam campuran, didapatkan dari rumus sebagai berikut :

$$VMA = 100 - j \quad (3.19)$$

Dimana :

j = Persentase volume agregat



BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Seberida milik PT Inti Indokomp yang berada di Rengat, Indragiri Hulu dan Laboratorium Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau. Di Laboratorium Seberida ini peneliti melakukan penelitian pemeriksaan agregat, analisa saringan, berat jenis dan pengujian *Marshall* pada variasi abu fiber kelapa sawit 0%, 25%, 50%, dan 75%. Untuk variasi abu fiber kelapa sawit 100% peneliti melaksanakannya penelitian di Laboratorium Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau.

4.2 Bahan Penelitian

Material yang digunakan oleh peneliti pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Agregat Kasar, Pasir dan Abu Batu

Untuk material yang digunakan merupakan milik PT. Inti Indokomp yang terdiri dari agregat kasar berasal dari *quary* Suban, Jambi, pasir berasal dari *quary* Japura, Indragiri Hulu, dan abu batu berasal dari *quary* Tanjung Balai Karimun, Kepulauan Riau.

2. Aspal

Aspal yang digunakan, yaitu penetrasi 60/70 milik PT. Inti Indokomp yang berasal dari PT. Rabana Aspalindo Dumai.

3. Abu Fiber Kelapa Sawit

Abu fiber kelapa sawit didapatkan dari proses pengolahan yang dilakukan oleh peneliti dengan cara membakar fiber kelapa sawit. Fiber kelapa sawit ini didapatkan peneliti dari perusahaan sawit PT. Adimulia Agrolestari yang berada di Desa Sukamaju Kecamatan Singingi Hilir Kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau.

4.3 Peralatan Penelitian

Dalam penelitian ini peneliti menggunakan peralatan dari Laboratorium Seberida milik PT Inti Indokomp yang berada di Rengat, Indragiri Hulu dan Laboratorium Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau. Peralatan yang digunakan, yaitu :

1. Saringan

Saringan adalah alat yang digunakan untuk membagi butiran (gradasi) agregat. Untuk setiap agregat yang lolos dari tiap saringan diubah dalam bentuk angka-angka persentase dan digambarkan pada grafik pembagian gradasi agregat. Untuk satu set saringan terdiri dari beberapa ukuran saringan, yaitu 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No.200.



Gambar 4.1 Saringan (Dokumentasi lapangan)

2. Pan dan Cover (Penutup)

Pan digunakan sebagai wadah dari agregat yang lolos dari saringan No.200 dan cover (penutup) digunakan untuk menutup saringan paling atas (saringan 1") sehingga agregat tidak keluar ketika saringan diguncang.



Gambar 4.2 Pan dan Cover (Penutup) (Dokumentasi Lapangan)

3. Timbangan

Timbangan digunakan untuk menimbang berat agregat. Timbangan yang digunakan harus memiliki ketelitian 0,1 gram dari berat benda uji



Gambar 4.3 Timbangan (Dokumentasi lapangan)

4. Cawan

Cawan digunakan sebagai tempat meletakkan benda uji sebelum melakukan pengujian. Cawan terbuat dari bahan alumunium yang tahan panas sehingga tidak akan mempengaruhi kondisi benda uji.



Gambar 4.4 Cawan (Dokumentasi lapangan)

5. Kuas

Kuas digunakan untuk membantu membersihkan agregat yang melekat pada saringan.



Gambar 4.5 Kuas (Dokumentasi lapangan)

6. Timbangan yang Dilengkapi dengan Alat Penggantung Keranjang

Timbangan yang dilengkapi dengan alat penggantung keranjang digunakan untuk pengujian berat jenis agregat.



Gambar 4.6 Timbangan yang Dilengkapi dengan Alat Penggantung Keranjang (Dokumentasi lapangan)

7. Keranjang Kawat

Keranjang kawat digunakan untuk tempat meletakkan agregat ketika di timbang pada pengujian berat jenis agregat.



Gambar 4.7 Keranjang Kawat (Dokumentasi lapangan)

8. Labu Ukur (Piknometer)

Labu ukur digunakan untuk pengujian berat jenis agregat halus. Labu ukur berfungsi untuk menimbang agregat halus dengan air suling yang direncanakan.



Gambar 4.8 Labu Ukur (Piknometer) (Dokumentasi lapangan)

9. Sendok Pengaduk

Sendok pengaduk digunakan sebagai alat untuk mengambil dan memisahkan agregat sebelum pelaksanaan analisa saringan.



Gambar 4.9 Sendok Pengaduk (Dokumentasi lapangan)

10. Tabung Gas dan *Torch* Gas

Tabung gas dan *torch* gas digunakan untuk membakar fiber kelapa sawit menjadi abu.



Gambar 4.10 Tabung Gas dan *Torch* Gas (Dokumentasi lapangan)

11. Tong

Tong digunakan untuk tempat pembakaran fiber kelapa sawit menjadi abu. Tong ini terbuat dari besi sehingga tahan terhadap panas.



Gambar 4.11 Tong (Dokumentasi lapangan)

12. Besi atau Kayu

Besi atau kayu digunakan untuk membantu mengaduk fiber kelapa sawit ketika di bakar, sehingga fiber bisa terbakar secara merata.



Gambar 4.12 Besi atau Kayu (Dokumentasi lapangan)

13. Seng

Seng digunakan untuk tempat meletakkan abu fiber kelapa sawit yang telah di bakar.



Gambar 4.13 Seng (Dokumentasi lapangan)

14. Cetakan (*Mold*)

Cetakan benda uji (*mold*) digunakan untuk mencetak briket aspal agar dapat dijadikan sampel uji.



Gambar 4.14 Cetakan (Mold) (Dokumentasi lapangan)

15. Alat Pengeluar Benda Uji (*Extruder*)

Alat pengeluar benda uji (*extruder*) digunakan untuk mengeluarkan benda uji dari cetakan (mold).



Gambar 4.15 Alat Pengeluar Benda Uji (*Extruder*) (Dokumentasi lapangan)

16. Kompor

Kompor digunakan untuk memanaskan agregat kasar, agregat halus, abu batu, pasir dan aspal dikuali menjadi campuran aspal.



Gambar 4.16 Kempor (Dokumentasi lapangan)

17. *Thermometer*

Thermometer digunakan untuk mengukur suhu pada *water bath* ketika perendaman benda uji dan alat pemanas lainnya.



Gambar 4.17 *Thermometer* (Dokumentasi lapangan)

18. Alat Penumbuk

Alat penumbuk digunakan untuk memadatkan benda uji sebelum dilakukan perendaman pada *water bath*. Tumbukan dilakukan sebanyak 2x75 untuk tiap benda uji.



Gambar 4.18 Alat Penumbuk (Dokumentasi lapangan)

19. Bak Perendam (*Water Bath*)

Bak perendam (*water bath*) digunakan untuk merendam benda uji dengan suhu tertentu sebelum dilakukan pengujian *Marshall*.



Gambar 4.19 Bak Perendam (*Water Bath*) (Dokumentasi lapangan)

20. *Marshall Test*

Marshall Test digunakan untuk mengujia benda uji untuk mendapatkan nilai stabilitas dan *flow* dari benda uji yang telah dibuat.



Gambar 4.20 Marshall Test (Dokumentasi lapangan)

4.3.1 Peralatan Pengujian Analisa Saringan

Peralatan yang digunakan pada pengujian analisa saringan adalah sebagai berikut :

1. Saringan satu set dengan ukuran saringan 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No.200.
2. Pan dan cover (penutup)
3. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram dari berat benda uji
4. Cawan, kuas dan sikat

4.3.2 Peralatan Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis dilakukan bertujuan untuk mendapatkan berat jenis efektif dari campuran aspal. Peralatan yang digunakan dalam pengujian berat jenis pada agregat kasar, agregat medium dan agregat halus adalah sebagai berikut :

1. Peralatan yang digunakan untuk pengujian agregat kasar dan sedang:
 - a. Timbangan yang dilengkapi dengan alat penggantung keranjang.
 - b. Keranjang kawat.
 - c. Saringan No.4 (4,75 mm) dan No.8 (2,36 mm)
2. Peralatan yang digunakan untuk pengujian agregat halus :
 - a. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram
 - b. Labu ukur (piknometer) 500 ml.
 - c. Batang penumbuk (*tamper*)

- d. Saringan No.4 (4,75 mm)
- e. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu.
- f. Cawan dan sendok pengaduk.

4.3.3 Peralatan Pembakaran Fiber Kelapa Sawit

Peralatan yang digunakan pada proses pembakaran fiber kelapa sawit menjadi abu adalah sebagai berikut :

1. Tabung gas
2. *Torch* gas
3. Tong
4. Korek api
5. Besi atau kayu panjang
6. Seng

4.3.4 Peralatan Penyaringan Hasil Pembakaran Fiber Kelapa Sawit

Peralatan yang digunakan untuk menyaring hasil pembakaran fiber kelapa sawit adalah sebagai berikut :

1. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram
2. Saringan No.30, No.50, No.100, No.200
3. Cawan

4.3.5 Peralatan Pembuatan Benda Uji

Peralatan yang digunakan dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

1. 3 buah cetakan benda uji (*Slab Mold*) berbentuk lingkaran.
2. Alat pengeluar benda uji (*Extruder*) dari cetakan mold.
3. Penumbuk yang memiliki tumbuk rata berbentuk silinder (*Steel Roller*)
4. Silinder cetakan benda uji.
5. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu.
6. Landasan pematik.
7. Termometer untuk menentukan suhu pemanas dan suhu pematik.
8. Kompor untuk memanasi campuran material
9. Cawan untuk tempat mengaduk

10. Sendok pengaduk

4.3.6 Peralatan Pengujian *Marshall*

Peralatan yang digunakan dalam pengujian *Marshall* adalah sebagai berikut :

1. Mesin tekan lengkap dengan alat pembacanya.
2. Kepala penekan.
3. Cincin penguji.
4. Arloji kelelahan.
5. Bak perendam (*water bath*) yang dilengkapi dengan pengatur suhu minimal 30°C.
6. Timbangan yang dilengkapi penggantungan benda uji dan bak air.

4.4 Proses Pengambilan Material

1. Material fiber kelapa sawit

Fiber kelapa sawit yang digunakan di peroleh dari PT. Adimulia Agrolestari di Desa Sukamaju Kec. Singingi Hilir Kab. Kuantan Singingi. Fiber kelapa sawit langsung di ambil oleh peneliti dan di bawa ke lokasi pembakaran di jalan Purnama II Desa Pandau Jaya Kec. Siak Hulu Kab. Kampar. Fiber kelapa sawit yang di peroleh, pada keesokan harinya langsung di jemur sekitar 1-2 hari untuk mengeringkan fiber kelapa sawit, sehingga mudah untuk di bakar.

2. Material agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan merupakan material milik PT. Inti Indokomp yang diperoleh dari *quary* Suban, Jambi. Material dibawa oleh *dump truck* dari lokasi pengambilan dan di bawa ke *Asphalt Mixing Plant* (AMP) yang berlokasi di Seberida, Indragiri Hulu.

3. Material pasir

Pasir yang digunakan merupakan material milik PT. Inti Indokomp yang diperoleh dari *quary* Japura, Indragiri Hulu. Material dibawa oleh *dump truck* dari lokasi pengambilan dan di bawa ke *Asphalt Mixing Plant* (AMP) yang berlokasi di Seberida, Indragiri Hulu.

4. Material abu batu

Abu batu yang digunakan merupakan material milik PT. Inti Indokomp yang diperoleh dari *quary* Tanjung Balai Karimun, Kepulauan Riau. Material diambil dari lokasi pengambilan dan dibawa oleh kapal ponton ke Pelabuhan Rengat, kemudian dibawa dengan *dump truck* ke *Asphalt Mixing Plant* (AMP) yang berlokasi di Seberida, Indragiri Hulu.

5. Aspal

Aspal yang digunakan merupakan aspal milik PT. Inti Indokomp yang diperoleh dari PT. Rabana Aspalindo Dumai. Aspal diangkut dari pabrik dengan truk tangki pengangkut aspal dan di bawa ke tangki *Asphalt Mixing Plant* (AMP) untuk menyimpan aspal cair yang berlokasi di Seberida, Indragiri Hulu. Selama di perjalanan di dalam truk tangki aspal, aspal akan terus dipanaskan dengan menggunakan batu bara agar aspal tidak membeku.

4.5 Tahap Penelitian

Berikut tahapan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Persiapan penyediaan bahan dan peralatan yang dibutuhkan
 Dalam melaksanakan penelitian ini perlu dilakukan persiapan diantaranya perizinan pemakaian laboratorium, mengumpulkan material untuk penelitian, persiapan alat penelitian dan persiapan blanko pengisian data.
2. Pengujian sifat dan kualitas agregat
 - a. Analisa saringan
 - b. Berat jenis dan penyerapan agregat
3. Perancangan campuran AC-BC menggunakan Spesifikasi Bina Marga 2018
 Metode yang dilakukan dalam perancangan campuran aspal ini berdasarkan Metode *Trial Mix* dengan memperhitungkan jumlah kadar aspal yang dibutuhkan dalam perancangan campuran aspal.

4. Pembuatan benda uji

Benda uji dibuat sesuai dengan rancangan campuran aspal yang direncanakan, dan untuk kadar aspal di coba sebanyak 5 varian kadar aspal berdasarkan grafik kadar aspal optimum dan masing-masing varian kadar aspal di buat 3 sampel. Total benda uji untuk mencari Kadar Aspal Optimum (KAO) adalah 15 sampel.

5. Pengujian *Marshall*

Setelah semua sampel telah selesai dibuat, selanjutnya dilakukan pengujian *marshall* untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO).

6. Pembuatan benda uji berdasarkan KAO dan varian *filler* yang digunakan

Setelah kadar aspal optimum didapatkan, selanjutnya pembuatan benda uji sebanyak 3 sampel untuk setiap varian *filler* abu fiber kelapa sawit yang digunakan, dengan varian *filler* yang digunakan yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% untuk mencari pengaruh penggunaan abu fiber kelapa sawit terhadap karakteristik *Marshall*. Total benda uji untuk mencari pengaruh penggunaan abu fiber kelapa sawit terhadap karakteristik *Marshall* adalah 15 sampel.

7. Pengujian benda uji dengan *Marshall Test* untuk memperoleh nilai *Stability*, *flow*, VIM, VMA, dan VFA.

8. Analisa dan pembahasan

Menganalisa benda uji pada campuran abu fiber kelapa sawit dengan abu batu sebagai *filler* dengan menggunakan *Marshall Test* sehingga diperoleh nilai karakteristik *Marshall* (*Stability*, *Flow*, VIM, VMA, dan VFA).

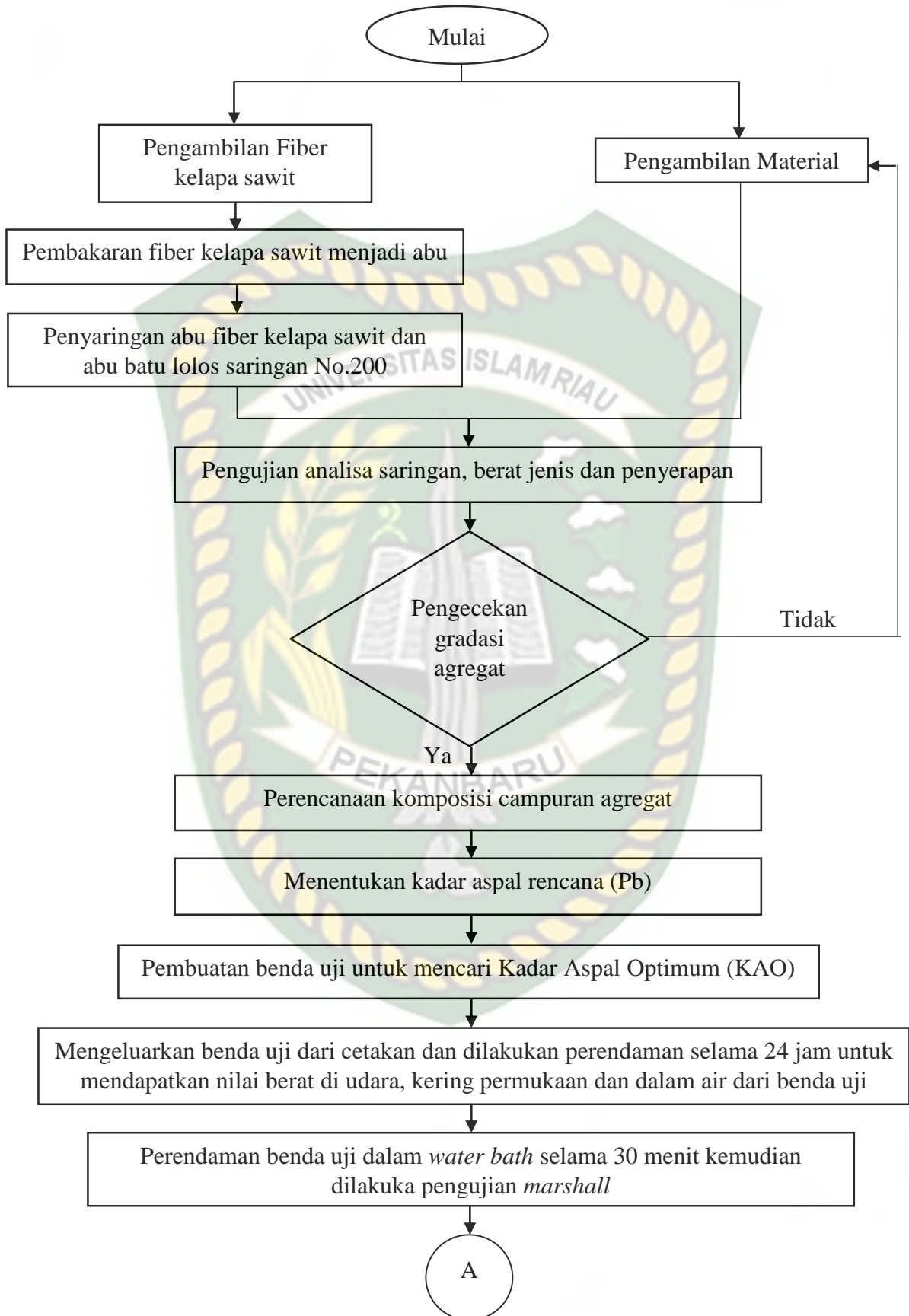
9. Kesimpulan dan saran

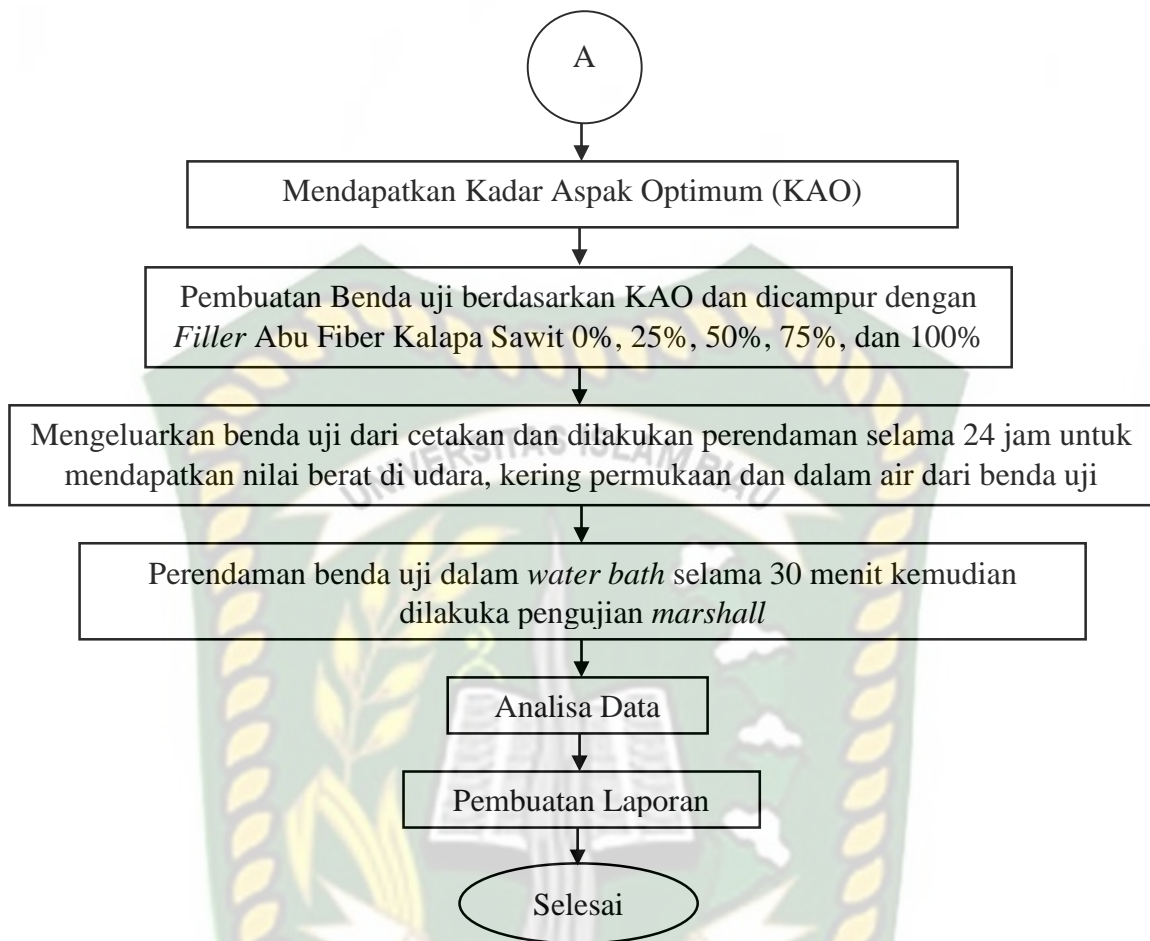
Kesimpulan dan saran akan didapatkan setelah pengujian benda uji selesai dilakukan dan hasil analisa telah didapatkan, sehingga dapat dilihat pengaruh penambahan abu fiber kelapa sawit terhadap campuran aspal AC-BC.

Untuk lebih jelasnya, tahapan penelitian ini dapat dilihat pada bagan alir penelitian pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21 Bagan Alir Penelitian *Ashalt Concrete – Binder Course (AC-BC)*





Gambar 4.22 Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian

4.6 Pengujian Agregat

Pada prosedur pengujian ini dilakukan pengecekan terhadap material agregat yang akan digunakan pada campuran aspal untuk pembuatan benda uji, agar dapat diketahui sifat-sifat material tersebut, baik agregat ataupun aspal. Pengujian agregat dilakukan sebagai berikut :

4.6.1 Pengujian Analisa Saringan

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan gradasi dari agregat yang digunakan, baik agregat kasar, agregat medium dan agregat halus dengan menggunakan saringan.

1. Ambil contoh material secukupnya untuk butir material secara merata. Timbang contoh material yang akan digunakan, setelah itu keringkan dengan dipanaskan dengan kompor sampai beratnya tetap.
2. Susun saringan mulai dari yang paling bawah adalah pan, selanjutnya saringan dengan lubang terkecil hingga saringan dengan lubang yang terbesar. Guncang saringan dengan tangan selama 15 menit.
3. Diamkan selama 5 menit sampai debu mengendap. Berat yang tertahan pada masing-masing saringan ditimbang.
4. Selanjutnya dihitung persentase berat uji yang tertahan pada masing-masing saringan.

4.6.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan

Pengujian dilakukan terhadap agregat kasar dan agregat halus. Berat jenis ini digunakan untuk mendapatkan berat jenis efektif dari campuran aspal. Pengujian memakai standar percobaan SNI 03-1969-1990 untuk agregat kasar, SNI 03-1970-1990 untuk pemeriksaan agregat halus.

A. Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar dan Agregat Medium

1. Benda uji adalah agregat kasar dan agregat medium yang tertahan saringan no. 4 (4,75) mm sebanyak lebih kurang 3 kg.
2. Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan.
3. Rendam benda uji dalam air pada suhu ruang selama 24 jam.
4. Keluarkan benda uji dari air, keringkan dengan menggunakan lap hingga mencapai keadaan kering permukaan jenuh (SSD), untuk agregat butiran besar pengeringan dilakukan satu per satu.
5. Timbang benda uji kering permukaan jenuh tersebut (B_j).
6. Letakkan benda uji didalam keranjang kawat, guncangan keranjang untuk mengeluarkan udara yang tersekap.
7. Tentukan berat dalam air, ukur suhu air, dan sesuaikan perhitungan dengan suhu standar (25°C) (B_a).
8. Selanjutnya benda uji dikeringkan dengan menggunakan kompor hingga menjadi konstan.

9. Dinginkan benda uji pada suhu ruang selama 1-3 jam dan timbang dengan ketelitian 0,5 gram (Bk).

B. Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

1. Keringkan benda uji yaitu agregat hasil dari saringan No.4 (4,75mm) dengan cara dipanaskan dengan kompor hingga berat tetap, berat tetap apabila tidak terjadi penurunan atau perubahan kadar air lebih besar dari 1%.
2. Dinginkan pada suhu ruang, kemudian rendam dalam air selama 24 jam.
3. Buang air perendaman dengan hati-hati jangan sampai butiran yang hilang, tebarkan agregat diatas triplek dan keringkan dengan cara diangin-anginkan sambil dibalik-balik sampai mencapai kondisi kering permukaan jenuh.
4. Kemudian periksa keadaan kering permukaan jenuh dari agregat halus.
5. Setelah tercapai keadaan kering permukaan jenuh, maka masukkan 500 gram benda uji ke dalam piknometer, tambahkan air suling kedalam piknometer hingga benda uji terendam, putar sambil diguncang sampai tidak terlihat gelembung udara. Untuk mempercepat proses ini dapat dilakukan pemanasan dengan menggunakan kompor dan dilapisin dengan pasir.
6. Tambahkan air suling sampai mencapai tanda batas leher piknometer.
7. Timbang piknometer berisi dan benda uji sampai ketelitian 0,1 gram (Bt).
8. Keluarkan benda uji dan keringkan dengan menggunakan kompor.
9. Setelah benda uji dingin, kemudian di timbang (Bk)
10. Tentukan berat piknometer berisi air penuh dan ukur air untuk penyesuaian dengan suhu standar (25°C).

4.7 Pengolahan Abu Fiber Kelapa Sawit

Berikut tahapan pengolahan abu fiber kelapa sawit adalah sebagai berikut :

1. Pengambilan fiber kelapa sawit

Fiber kelapa sawit diperoleh dari perusahaan kelapa sawit yang berada di Desa Sukamaju Kecamatan Singingi Hilir Kabupaten Kuantan Singingi, yaitu perusahaan PT. Adimulia Agrolestari.

2. Penjemputan fiber kelapa sawit

Fiber limbah kelapa sawit yang diperoleh, pada keesokan harinya langsung dijemur sekita 1-2 hari hingga fiber kelapa sawit kering.

3. Pembakaran fiber kelapa sawit

Proses pembakaran fiber kelapa sawit dilakukan dengan di bakar menggunakan torch gas didalam tong dan diaduk dengan menggunakan besi atau kayu. Proses ini bertujuan untuk mendapatkan abu fiber kelapa sawit.

4. Penyaringan abu fiber kelapa sawit

Abu hasil dari pembakaran disaring dengan menggunakan saringan No.30, No.50, No.100, No.200. Tujuan dari penyaringan ini agar abu fiber kelapa sawit memiliki tingkat kehalusan yang seragam (abu lolos saringan No.200).

4.8 Prosedur Pembuatan Benda Uji atau Briket Aspal

Sebelum pembuatan benda uji, terlebih dahulu dilakukan pembuatan rancangan campur (*Mix Design*). Perencanaan rancang campur meliputi perencanaan gradasi agregat, penentuan kadar aspal, dan penentuan komposisi masing-masing fraksi baik agregat, aspal, dan *filler*. Menentukan proporsi masing-masing fraksi agregat untuk mendapatkan komposisi yang digunakan untuk campuran, menggunakan metode perhitungan matriks. Setelah persentase gradasi agregat campuran diperoleh selanjutnya dicari kadar aspal awal. Setelah itu menentukan variasi kadar aspal rencana.

Setelah variasi kadar aspal rencana didapatkan selanjutnya membuat benda uji sebanyak 3 sampel masing-masing variasi kadar aspal rencana untuk mencari Kadar Aspal Otimum (KAO). Kemudian dilanjutkan dengan pengujian *Marshall*.

Setelah didapatkan kadar aspal optimum, maka selanjutnya dibuat benda uji dengan komposisi *filler* abu fiber kelapa sawit 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% terhadap nilai KAO sebanyak 3 buah sampel untuk setiap variasi abu fiber kelapa sawit yang digunakan.

4.9 Pengujian *Marshall*

Pengujian *marshall* bertujuan untuk menentukan stabilitas dan kelelahan (*flow*) dari suatu campuran beraspal. Alat *marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin pengujian) dan *flow* meter. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas dan *flow* meter untuk mengukur kelelahan plastis (*flow*). Secara garis besar pengujian *marshall* terdiri dari persiapan benda uji, penentuan berat jenis *bulk* dari benda uji, pemeriksaan nilai stabilitas dan *flow*, dan perhitungan sifat volumetrik campuran. Perhitungan parameter aspal pada penelitian ini meliputi VMA, VFA, VIM, Stabilitas dan *Flow* sesuai parameter yang ada pada spesifikasi campuran.

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Material

Pada penelitian ini terdapat beberapa pengujian yang dilakukan, yaitu analisa saringan, berat jenis agregat dan penyerapan sesuai persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

5.1.1 Hasil Distribusi Ukuran Butiran Agregat (Analisa Saringan)

Dalam penelitian ini pemeriksaan analisa saringan dimaksudkan sebagai pegangan dalam menentukan persentase pencampuran agregat. Data yang diperoleh dari hasil analisa saringan agregat kasar, medium, abu batu, pasir dan *filler* dapat dilihat pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Persen Lolos Agregat (Analisa Data)

Nomor Saringan	% Lolos Agregat				
	Kasar	Medium	Abu Batu	Pasir	Filler
1'	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	93,09	100,00	100,00	100,00	100,00
1/2"	42,50	99,78	99,22	100,00	100,00
3/8"	13,56	97,11	98,47	100,00	100,00
NO.4	5,24	61,80	93,84	99,72	100,00
NO.8	3,67	31,76	67,58	96,13	100,00
NO.16	2,98	17,49	50,28	86,54	100,00
NO.30	2,54	12,76	40,64	64,69	100,00
NO.50	2,32	11,07	34,75	30,02	100,00
NO.100	1,98	9,06	24,03	3,52	100,00
NO.200	1,70	7,88	17,27	0,84	100,00

Berdasarkan tabel 5.1 persen lolos agregat didapatkan dari perhitungan analisa saringan, dapat dilihat pada tabel A – A4 pada Lampiran A1 – A4.

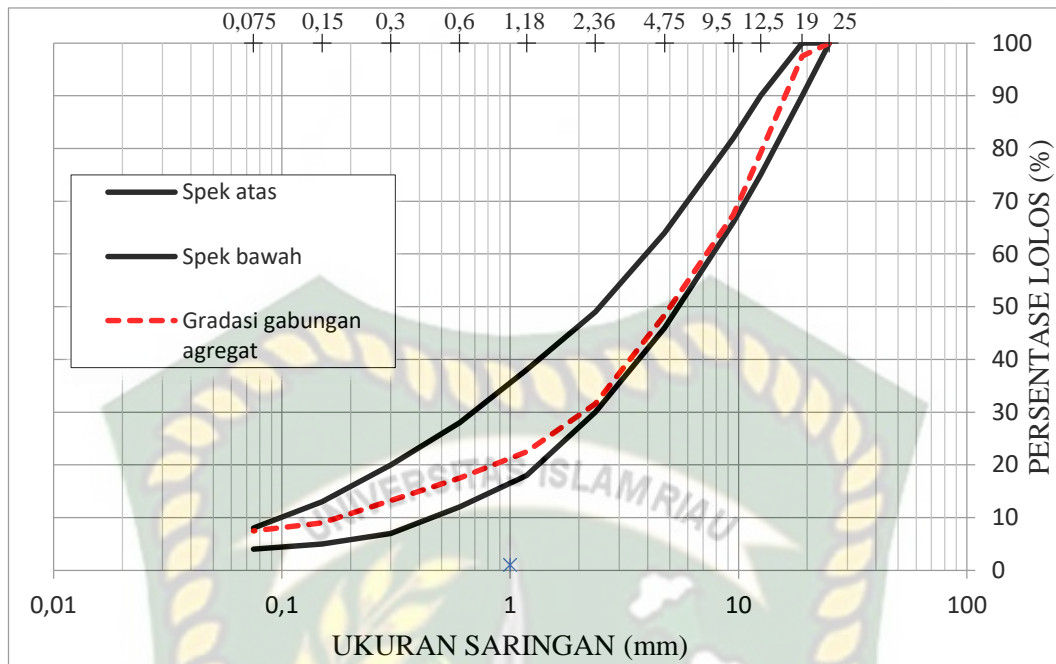
5.1.2 Hasil Perhitungan Gabungan Agregat

Persentase untuk masing-masing material pada campuran AC-BC diperoleh dengan cara metode matrik. Dari hasil perhitungan didapatkan persentase campuran yaitu 36% agregat kasar, 44% agregat medium, 10,5% abu batu, 8% pasir dan 1,5% *filler*. Persentase pemakaian agregat tersebut dikalikan dengan persen lolos masing-masing agregat sehingga didapatkan gradasi agregat gabungan. Gradasi agregat gabungan ini harus memenuhi persyaratan menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 untuk campuran aspal AC-BC. Hasil perhitungan komposisi campuran dapat dilihat pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Gradasi Agregat Gabungan Campuran AC-BC (Analisa Data)

Nomor Saring.	% Lolos Agregat					% Pemakaian Agregat					Gradasi Gab.	Spek.
	Kasar	Medium	Abu Batu	Pasir	Filler	Ca	Ma	Fa	Fs	Filler		
						36,00	44,00	10,50	8,00	1,50		
1'	100	100	100	100	100	36,00	44,00	10,50	8,00	1,50	100	100
3/4"	93,09	100	100	100	100	33,51	44,00	10,50	8,00	1,50	97,5	90-100
1/2"	42,50	99,78	99,22	100	100	15,30	43,90	10,42	8,00	1,50	79,1	75 - 90
3/8"	13,56	97,11	98,47	100	100	4,88	42,73	10,34	8,00	1,50	67,4	66 - 82
No.4	5,24	61,80	93,84	99,72	100	1,89	27,19	9,85	7,98	1,50	48,4	46 - 64
No.8	3,67	31,76	67,58	96,13	100	1,32	13,97	7,10	7,69	1,50	31,6	30 - 49
No.16	2,98	17,49	50,28	86,54	100	1,07	7,70	5,28	6,92	1,50	22,5	18 - 38
No.30	2,54	12,76	40,64	64,69	100	0,91	5,61	4,27	5,18	1,50	17,5	12 - 28
No.50	2,32	11,07	34,75	30,02	100	0,84	4,87	3,65	2,40	1,50	13,3	7 - 20
No.100	1,98	9,06	24,03	3,52	100	0,71	3,99	2,52	0,28	1,50	9,0	5 - 13
No.200	1,70	7,88	17,27	0,84	100	0,61	3,47	1,81	0,07	1,50	7,46	4 - 8

Berdasarkan tabel 5.2 didapatkan persen pemakaian agregat kasar (CA) 36%, agregat medium (MA) 44%, abu batu (FA) 10,5%, pasir (FS) 8% dan *filler* 1,5%. Sedangkan persentase pemakaian tiap fraksi agregat juga didapatkan nilai berat jenis *bulk* gabungan, berat jenis *apparent* dan berat jenis efektif. Grafik gradasi gabungan dapat dilihat pada gambar 5.1.



Gambar 5.1 Grafik Gradasi Agregat Gabungan Campuran AC-BC

Berdasarkan pada gambar 5.1 dapat dilihat bahwa gradasi gabungan agregat berada tepat diantara batas atas dan batas bawah sehingga dapat diartikan bahwa gradasi ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018.

5.1.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar dan Agregat Halus

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan pada agregat kasar, medium, abu batu, pasir dan *filler* dapat dilihat pada tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

No	Pengujian	Agregat Kasar (gr/cm ³)	Agregat Medium (gr/cm ³)	Abu Batu (gr/cm ³)	Pasir (gr/cm ³)	Filler (gr/cm ³)	Syarat
1	Berat Jenis (Bulk)	2,678	2,575	2,538	2,522	2,670	Min 2,5
2	Berat Jenis Kering Permukaan (SSD)	2,696	2,597	2,561	2,571	2,747	Min 2,5

Lanjutan Tabel 5.3

3	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	2,727	2,631	2,599	2,653	2,893	Min 2,5
4	Penyerapan (%)	0,679	0,822	0,929	1,970	2,881	Maks 3%

Berdasarkan persyaratan umum yang digunakan sebagai pedoman, pada tabel 5.3 dapat dijelaskan bahwa agregat tersebut memenuhi persyaratan yang ditentukan dan layak digunakan sebagai campuran aspal. Syarat berat jenis minimum 2,5 gr/cm³, serta penyerapan tidak lebih dari 3% (Departemen Pekerjaan Umum, 1998 dalam Nofriandi, 2020).

5.1.4 Hasil Pengujian Bahan Pengisi (*Filler*)

Berdasarkan dari SNI 03-1968-1990 menyatakan bahwa *filler* adalah bahan berbutir kering dan halus yang lolos ayakan saringan No.200 sebesar 75% dari berat semulanya. Pada penelitian ini *filler* yang digunakan adalah abu fiber kelapa sawit yang lolos ayakan No.200.

5.1.5 Pengujian Aspal

Dalam penelitian ini aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70. Pada pengujian mutu aspal hanya mengambil data sekunder dapat dilihat pada tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Aspal (Manggiring, 2006 dalam Pratama, 2016)

No.	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian	Persyaratan Pengujian
1	Penetrasi	0,1	63,64	60-70
2	Titik Lembek	°C	49,75	48-58
3	Titik Nyala	°C	300	Min 232
4	<i>daktilitas</i>	°C	135	Min 100

Hasil pengujian aspal berdasarkan tabel 5.4 dapat dijelaskan bahwa aspal tersebut dapat digunakan sebagai bahan campuran perkerasan aspal karena telah

memenuhi persyaratan yang ditentukan pada Spesifikasi Bina Marga, 2018. Untuk berat jenis aspal dapat dilihat pada tabel 5.5.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal Penetrasi 60/70 (Laboratorium Seberida)

No.	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian	Persyaratan Pengujian
1	Berat Jenis	Gr/cc	1,030	Min 1,0

Berdasarkan tabel 5.5 hasil pengujian berat jenis aspal penetrasi 60/70 tersebut telah memenuhi persyaratan pada SNI 03-1737-1989.

5.1.6 Hasil Perhitungan Perkiraan Awal Kadar Aspal (Pb)

Setelah hasil dari persentase gradasi agregat campuran didapatkan, maka selanjutnya ditentukan perkiraan awal kadar aspal tengah rancangan (Pb). Variasi kadar aspal yang digunakan sebanyak 5 variasi yang tiap masing-masing berbeda 0,5 % . Untuk perhitungan perkiraan kadar aspal rencana awal (Pb) adalah sebagai berikut :

Persen agregat tertahan saringan No.8 (CA)	= 68,4 %
Persen agregat lolos No.8 tertahan No.200 (FA)	= 24,14 %
Persen agregat lolos saringan No.200	= 7,46 %
Konstanta (0,5-1) untuk lapisan aspal beton	= 0,5
Di dapat nilai Pb	= 5,32 % = 5,5 %

(Perhitungan dapat dilihat pada Lampiran A9)

Dari hasil perhitungan, didapat nilai perkiraan awal kadar aspal tengah (Pb) yaitu sebesar 5,5 % . Sehingga dapat ditentukanlah untuk variasi kadar aspal campuran AC-BC dimulai dari 4,5 % ; 5 % ; 5,5 % ; 6 % ; dan 6,5 % .

5.2 Pembuatan Benda Uji

Agregat, gradasi agregat, aspal penetrasi 60/70 dan abu fiber kelapa sawit yang telah memenuhi syarat, selanjutnya akan dibuat benda uji dengan dua tahapan yaitu :

1. Benda uji dengan aspal penetrasi 60/70 dalam campuran AC-BC dengan variasi kadar aspal sebesar 4,5% ; 5% ; 5,5% ; 6% dan 6,5%. Benda uji dibuat sebanyak 15 buah, dimana setiap variasi kadar aspal dibuat 3 buah benda uji. Benda uji ini dibuat bertujuan untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO).
2. Dibuat Benda dengan KAO terhadap campuran *filler* abu fiber kelapa sawit dengan variasi kadar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% *filler* abu fiber kelapa sawit. Tiap variasi kadar *filler* abu fiber kelapa sawit masing-masing dibuat benda uji sebanyak 3 buah, sehingga total benda uji yang dibuat sebanyak 15 buah benda uji terhadap kadar *filler* abu fiber kelapa sawit. Setelah pembuatan benda uji, dilanjutkan pengujian *Marshall*.

5.3 Hasil Pengujian *Marshall*

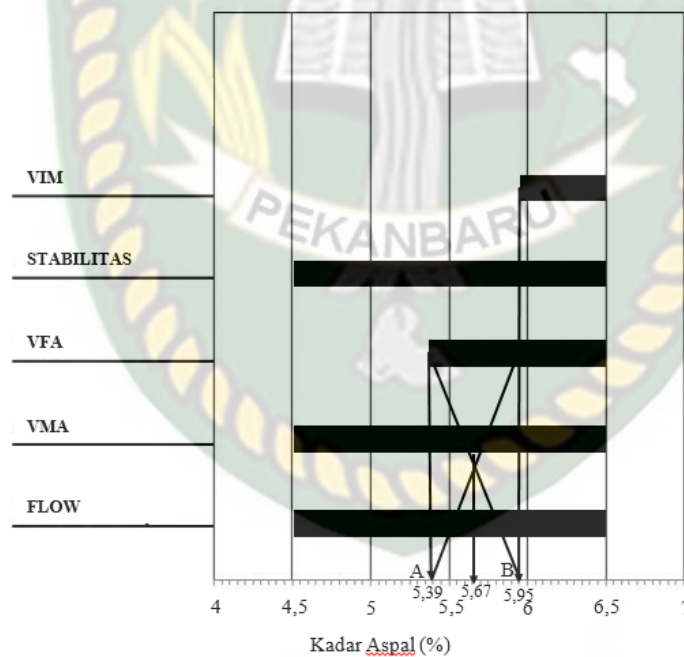
Pengujian *Marshall* dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai stabilitas (*stability*) dan nilai kelelahan (*flow*) dari campuran aspal yang direncanakan. Dari hasil pengujian ini dapat juga ditentukan besarnya kadar aspal optimum (KAO) campuran, dengan menentukan 5 parameter *Marshall* yaitu stabilitas, *flow*, VIM, VMA, dan VFA terlebih dahulu. Hasil analisa tersebut harus memenuhi standar persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 terhadap campuran AC-BC. Hasil pengujian *Marshall* dari 5 variasi dengan jumlah benda uji aspal dapat dilihat pada tabel 5.6.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian *Marshall* Campuran AC-BC

No	Parameter	Satuan	Kadar Aspal (%)					Spek.
			4,5	5	5,5	6	6,5	
1	VMA	%	17,550	18,379	18,418	18,317	18,551	Min 14
2	VFA	%	56,645	59,809	65,964	72,832	78,100	Min 65
3	VIM	%	7,609	7,387	6,269	4,976	4,063	Min 3
								Maks 5
4	Stabilitas	Kg	894,671	870,359	821,735	812,011	807,148	Min 800
5	<i>Flow</i>	Mm	5,167	4,17	4,57	4,60	4,10	Min 2
								Maks 4

Berdasarkan Tabel 5.6 dapat dilihat bahwa, nilai VMA dan Stabilitas pada kelima variasi kadar aspal telah memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2018. Pada nilai VFA yang memenuhi standar spesifikasi yaitu pada kadar aspal 5,5% ; 6% dan 6,5%, namun pada kadar aspal 4,5% dan 5 % nilai VFA tidak memenuhi standar spesifikasi. Pada nilai VIM yang memenuhi standar spesifikasi yaitu pada kadar aspal 6% dan 6,5%, namun pada kadar aspal 4,5% ; 5% dan 5,5% tidak memenuhi standar spesifikasi. Pada nilai flow untuk kelima variasi kadar aspal tidak memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2018.

Setelah menganalisa ke 15 benda uji aspal, selanjutnya menghitung nilai kadar aspal optimum (KAO) yang ditentukan dari 6 parameter *Marshall* yaitu nilai stabilitas, *flow*, VIM, VMA dan VFA. KAO merupakan pembagian antara nilai berbagai macam spesifikasi yang memenuhi antara penjumlahan batas kiri (a) dan batas kanan (b) lalu dibagi 2. Nilai kadar aspal optimum (KAO) dapat dilihat pada gambar 5.2.



Gambar 5.2 Diagram Kadar Aspal Optimum

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar Aspal Optimum} &= \frac{A+B}{2} \\
 &= \frac{5,39+5,95}{2} \\
 &= 5,67 \%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan gambar 5.2 didapatkan nilai KAO yaitu 5,67%. Selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji dengan menggunakan *filler* abu fiber kelapa sawit terhadap KAO. Benda uji yang akan dibuat adalah sebanyak 15 benda uji, dimana 3 benda uji untuk komposisi 100% *filler* abu batu, 3 benda uji untuk komposisi 75% *filler* abu batu + 25% *filler* abu fiber kelapa sawit, 3 benda uji untuk komposisi 50% *filler* abu batu + 50% *filler* abu fiber kelapa sawit, 3 benda uji untuk komposisi 25% *filler* abu baru + 75% *filler* abu fiber kelapa sawit dan 3 benda uji untuk komposisi 100% *filler* abu fiber kelapa sawit. Berikut hasil pengujian *Marshall* KAO + Persentase penambahan *filler* abu fiber kelapa sawit sesuai standar peraturan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dapat dilihat pada tabel 5.7.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian *Marshall* Campuran AC-BC dengan *Filler* Abu Fiber Kelapa Sawit Terhadap Kadar Aspal Optimum

No	Parameter	Satuan	Kadar Abu Fiber Kelapa Sawit (%)					Spek.
			0	25	50	75	100	
1	VMA	%	17,556	17,473	17,391	17,364	17,086	Min 14
2	VFA	%	72,225	72,664	73,055	73,198	74,635	Min 65
3	VIM	%	4,876	4,780	4,686	4,654	4,334	Min 3,0
								Maks 5,0
4	Stabilitas	Kg	826,646	904,395	812,059	773,112	766,566	Min 800
5	<i>Flow</i>	Mm	3,93	3,57	4,10	4,40	4,63	Min 2
								Maks 4

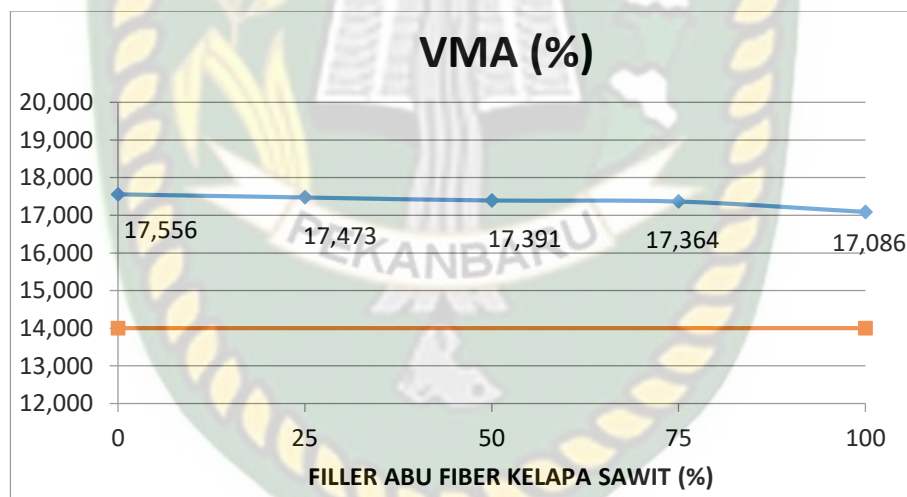
Berdasarkan tabel 5.7 dapat dilihat bahwa penambahan abu fiber kelapa sawit hanya pada variasi 0% dan 25% yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018. Untuk nilai VIM, VMA dan VFA semua variasi memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018. Semakin besar campuran komposisi *filler* abu fiber kelapa sawit yang digunakan, maka semakin rendah nilai VMA dan VIM. Namun, pada nilai VFA, semakin besar campuran komposisi *filler* abu fiber kelapa sawit yang digunakan, maka nilainya semakin besar. Pada variasi 50% hingga 100% penggunaan abu fiber kelapa sawit, nilai stabilitas terus menurun, bahkan nilai stabilitas pada variasi 75% dan 100% tidak memenuhi persyaratan Spesifikasi

Bina Marga 2018 yaitu nilai stabilitas minimal 800 Kg. Untuk nilai *Flow* hanya pada variasi 0% dan 25% yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018.

5.3.1 Rongga Dalam Mineral Agregat (*Void in Mineral Agregate / VMA*)

VMA (*Void in Mineral Agregate*) merupakan rongga udara yang ada diantara butir-butir agregat dalam campuran agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif, yang merupakan persen volume rongga didalam agregat yang terisi oleh aspal, dinyatakan dalam persen terhadap total volume. Nilai VMA tergantung pada ukuran mineral agregat, tekstur permukaan agregat, bentuk partikel agregat dan metode pemadatannya.

Nilai VMA pada komposisi *filler* abu fiber kelapa sawit yang berbeda terhadap kadar aspal optimum 5,67% pada penelitian *Marshall* dapat dilihat pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Hubungan VMA dengan *Filler* Abu Fiber Kelapa Sawit pada KAO

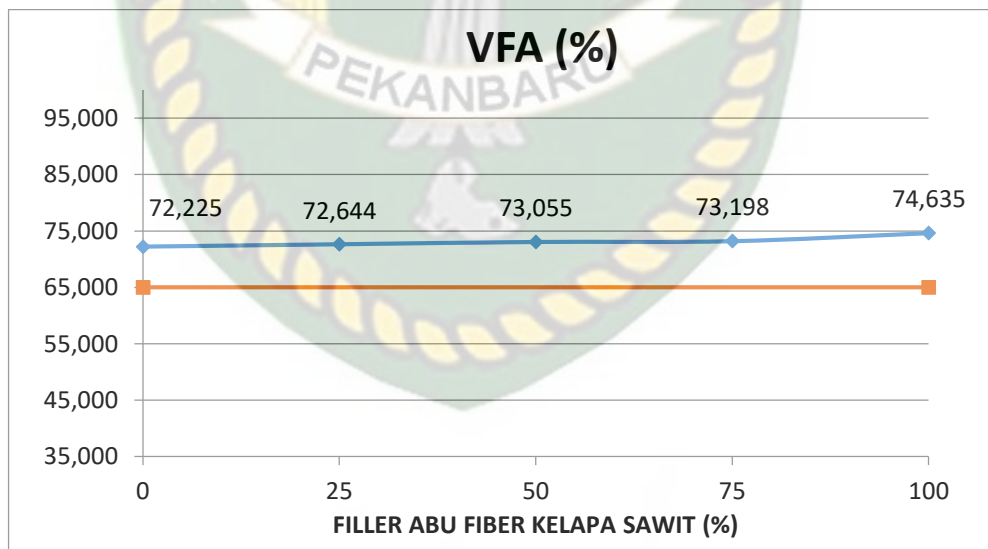
Berdasarkan Gambar 5.3 dapat dilihat bahwa semakin besar persentase penambahan komposisi *filler* abu fiber kelapa sawit kedalam campuran aspal, maka nilai VMA semakin menurun. Tetapi walaupun mengalami penurunan, nilainya masih dalam standar yang ditetapkan Bina Marga 2018, yaitu syarat minimum untuk nilai VMA pada campuran aspal AC-BC adalah 14%. Nilai VMA pada kadar aspal optimum untuk campuran diperoleh pada kadar *filler* 100% abu batu sebesar 17,556%, untuk 75% abu batu + 25% abu fiber kelapa sawit sebesar 17,437%, untuk

50% abu batu + 50% abu fiber kelapa sawit sebesar 17,391%, untuk 25% abu batu + 75% abu fiber kelapa sawit sebesar 17,364% dan untuk 100% abu fiber kelapa sawit didapatkan nilai VMA sebesar 17,086%.

Nilai VMA berpengaruh pada sifat kedekatan campuran terhadap air dan udara, sehingga kemampuannya menahan keausan semakin baik. Jika nilai VMA terlalu kecil, maka pada campuran dapat mengalami masalah durabilitas dan mengakibatkan lapisan aspal menjadi lebih mudah rusak. Namun sebaliknya, jika nilai VMA terlalu besar maka akan bermasalah pada stabilitasnya.

5.3.2 Rongga Terisi Aspal (*Void Filled with Asphalt* / VFA)

VFA (*Void Filled with Asphalt*) merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan, tetapi tidak termasuk aspal yang diserap agregat. Untuk menghasilkan campuran perkerasan yang awet, maka rongga-rongga antara harus terisi aspal yang cukup untuk mendapatkan lapisan aspal yang baik. Nilai VFA pada komposisi *filler* abu fiber kelapa sawit yang berbeda terhadap kadar aspal optimum 5,67% pada penelitian *Marshall* dapat dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Hubungan VFA dengan *Filler* Abu Fiber Kelapa Sawit pada KAO

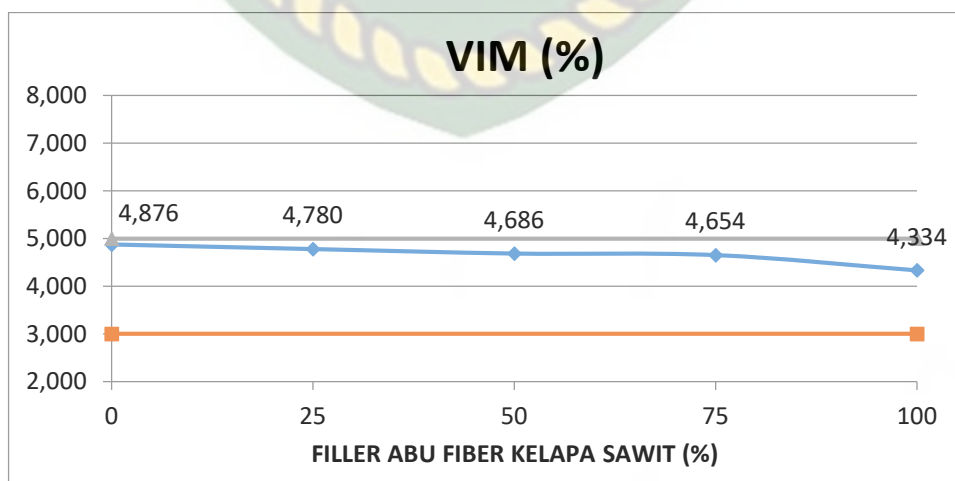
Berdasarkan Gambar 5.4 dapat dilihat bahwa semakin besar persentase penambahan komposisi filler abu fiber kelapa sawit kedalam campuran aspal, maka nilai VFA semakin tinggi. Nilai VFA pada kadar aspal optimum untuk campuran

diperoleh pada kadar *filler* 100% abu batu sebesar 72,225%, untuk 75% abu batu + 25% abu fiber kelapa sawit sebesar 72,644%, untuk 50% abu batu + 50% abu fiber kelapa sawit sebesar 73,055%, untuk 25% abu batu + 75% abu fiber kelapa sawit sebesar 73,198% dan untuk 100% abu fiber kelapa sawit sebesar 74,635%. Untuk semua variasi *filler* telah memenuhi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu nilai minimum VFA untuk campuran AC-BC adalah 65%.

Nilai VFA berpengaruh pada sifat kekedapan campuran terhadap air dan udara VFA juga menentukan stabilitas, fleksibilitas, durabilitas pada lapis perkerasan. Semakin tinggi nilai VFA maka semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kekedapan campuran terhadap air dan udara juga semakin tinggi, namun bila nilai VFA terlalu tinggi maka akan menyebabkan terjadinya *bleeding*. Jika nilai VFA terlalu rendah akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara karena lapis film aspal akan menjadi tipis dan menjadi mudah retak bila menerima beban, sehingga menyebabkan lapis perkerasan tidak tahan lama.

5.3.3 Rongga Dalam Campuran (*Void In the Mix / VIM*)

VIM (*Void In the Mix*) adalah persentase rongga yang terdapat dalam rongga campuran atau volume pori yang masih tersisa dalam campuran aspal beton dipadatkan. Nilai VIM pada komposisi *filler* abu fiber kelapa sawit yang berbeda terhadap kadar aspal optimum 5,67% pada penelitian *Marshall* dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Hubungan VIM dengan *Filler* Abu Fiber Kelapa Sawit pada KAO

Berdasarkan Gambar 5.5 dapat dilihat bahwa semakin besar penambahan komposisi *filler* abu fiber kelapa sawit kedalam campuran aspal, maka nilai VIM semakin menurun. Tetapi walaupun mengalami penurunan, nilainya masih dalam standar yang ditetapkan Bina Marga 2018, yaitu syarat minimum untuk nilai VIM pada campuran aspal AC-BC adalah 3% dan maksimumnya adalah 5%. Nilai VIM pada kadar aspal optimum untuk campuran dengan komposisi *filler* 100% abu batu sebesar 4,876%, 75% abu batu + 25% abu fiber kelapa sawit sebesar 4,780%, 50% abu batu + 50% abu fiber kelapa sawit sebesar 4,686%, 25% abu batu + 75% abu fiber kelapa sawit sebesar 4,654% dan 100% abu fiber kelapa sawit didapatkan nilai VIM sebesar 4,334%.

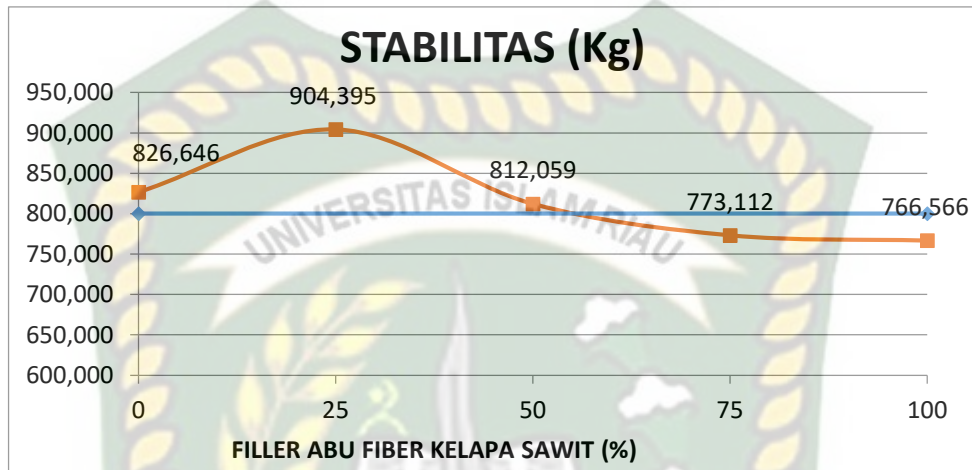
Nilai VIM merupakan ukuran yang umum dikaitkan dengan durabilitas dan kekuatan dari campuran perkerasan. Semakin tinggi nilai VIM maka menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat porus dan hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran, maka menyebabkan lekatan antar butiran agregat berkurang sehingga terjadi pelepasan butiran pada lapis perkerasan. Namun sebaliknya, semakin rendah nilai VIM maka mengakibatkan campuran aspal akan kedap terhadap air, sehingga udara tidak dapat masuk kedalam lapisan perkerasan menyebabkan perkerasan akan cepat mengalami kerusakan dan juga dapat mengakibatkan *bleeding* (aspal meleleh keluar) pada saat memikul beban lalu lintas.

5.3.4 Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan untuk menerima beban lalu lintas yang bekerja di atasnya tanpa mengalami perubahan bentuk tetap seperti gelombang (*washboarding*), alur (*rutting*) dan *bleeding*. Inti dari stabilitas ialah tahan terhadap geser atau kekuatan saling mengunci (*interlocking*) yang dipunyai bahan agregat dan lekatan yang disumbangkan oleh aspal. Stabilitas akan terjaga tetap tinggi bila mana agregat terkunci satu sama lain dengan baik. Stabilitas sangat dipengaruhi oleh kadar aspal. Penggunaan aspal dalam campuran akan menentukan nilai stabilitas campuran tersebut. Seiring penambahan aspal, nilai stabilitas akan meningkat hingga batas maksimum. Namun penambahan aspal di atas batas

maksimum, akan menurunkan nilai stabilitas sehingga lapis perkerasan menjadi kaku dan mudah retak.

Nilai Stabilitas pada komposisi *filler* abu fiber kelapa sawit yang berbeda terhadap kadar aspal optimum 5,67% pada penelitian *Marshall* dapat dilihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Hubungan Stabilitas dengan *Filler* Abu Fiber Kelapa Sawit pada KAO

Berdasarkan Gambar 5.6 dapat bahwa nilai Stabilitas cenderung mengalami peningkatan dan penurunan dengan bertambahnya komposisi *filler* abu fiber kelapa sawit pada kadar yang berbeda. Nilai stabilitas tertinggi yaitu pada komposisi *filler* 75% abu batu + 25% abu fiber kelapa sawit dan nilai stabilitas terendah terdapat pada komposisi *filler* 100% abu fiber kelapa sawit. Untuk nilai stabilitas hanya pada variasi 100% abu batu, 75% abu batu + 25% abu fiber kelapa sawit dan 50% abu batu + 50% abu fiber kelapa sawit yang memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 dengan nilai stabilitas minimum yaitu 800 Kg untuk campuran aspal AC-BC.

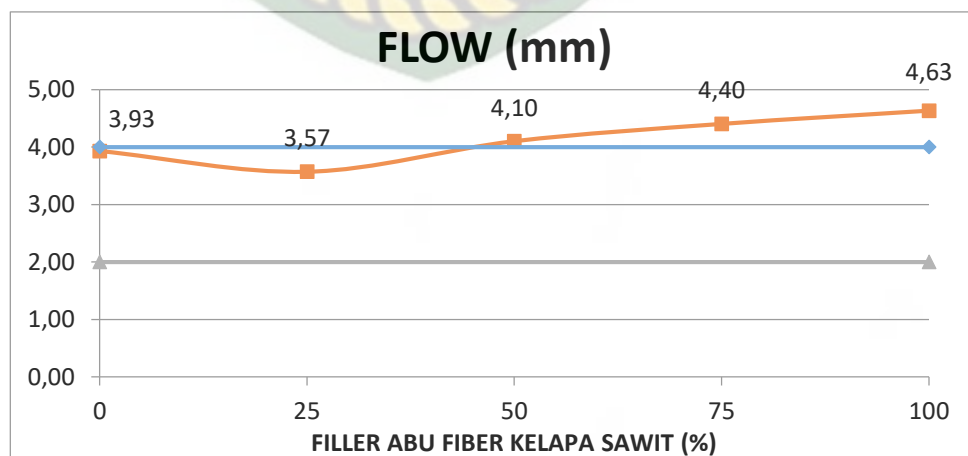
Diperoleh nilai stabilitas terhadap kadar aspal optimum pada komposisi *filler* 100% abu batu sebesar 826,646 Kg, 75% abu batu + 25% abu fiber kelapa sawit sebesar 904,395 Kg, 50% abu batu + 50% abu fiber kelapa sawit sebesar 812,059 Kg, 25% abu batu + 75% abu fiber kelapa sawit sebesar 773,112 Kg dan 100% abu fiber kelapa sawit sebesar 766,566 Kg. Nilai Stabilitas yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan lapisan perkerasan terlalu kaku dan akan mudah terjadi retak pada waktu menerima beban lalu lintas sehingga tingkat keawetannya berkurang.

Namun bila nilai stabilitas terlalu rendah akan mudah mengalami rutting oleh beban lalu lintas atau terjadi deformasi.

Pada variasi penambahan komposisi *filler* 100% abu batu, 75% abu batu + 25% abu fiber kelapa sawit, 50% abu batu + 50% abu fiber kelapa sawit dan 25% abu batu + 75% abu fiber kelapa sawit pelaksanaan pembuatan benda uji dan pengujian dilaksanakan di Laboratorium Seberida dengan angka kalibrasi *provingring* pada alat pengujian *marshall* yaitu 32,12 Ibs (14,587 Kg). Sedangkan pada variasi penambahan komposisi *filler* 100% abu fiber kelapa sawit pelaksanaan pembuatan benda uji dan pengujian dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Jalan Raya / Aspal, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Riau dengan angka kalibrasi *provingring* pada alat pengujian *marshall* yaitu 35,42 Ibs (16,081 Kg).

5.3.5 Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan (*Flow*) adalah keadaan perubahan bentuk campuran yang terjadi akibat pembebanan sampai batas runtuh, sehingga stabilitas menurun yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterima. Ketahanan terhadap kelelahan (*flow*) merupakan kemampuan aspal beton menerima lendutan berulang akibat repetisi beban. Nilai *Flow* dipengaruhi oleh kadar aspal, viskositas aspal, gradasi agregat, jumlah dan temperatur pemadatan. Nilai *Flow* pada komposisi *filler* abu fiber kelapa sawit yang berbeda terhadap kadar aspal optimum 5,67% pada penelitian *Marshall* dapat dilihat pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Hubungan Flow dengan *Filler* Abu Fiber Kelapa Sawit pada KAO

Berdasarkan Gambar 5.7 dapat dilihat bahwa nilai *Flow* cenderung mengalami peningkatan dan penurunan dengan bertambahnya komposisi *filler* abu fiber kelapa sawit pada kadar yang berbeda. Nilai *flow* tertinggi yaitu pada komposisi *filler* 100% abu fiber kelapa sawit dan nilai *flow* terendah terdapat pada komposisi *filler* 75% abu batu + 25% abu fiber kelapa sawit. Pada nilai *flow* hanya pada komposisi *filler* 100% abu batu dan 75% abu batu + 25% abu fiber kelapa sawit yang memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 dengan nilai *flow* minimum adalah 2 mm dan maksimumnya adalah 4 mm untuk campuran aspal AC-BC.

Diperoleh nilai *flow* terhadap kadar aspal optimum pada komposisi *filler* 100 % abu batu sebesar 3,93 mm, 75 % abu batu + 25% abu fiber kelapa sawit sebesar 3,57 mm, 50% abu batu + 50% abu fiber kelapa sawit sebesar 4,10 mm, 25% abu batu + 75% abu fiber kelapa sawit sebesar 4,40 mm dan 100% abu fiber kelapa sawit didapatkan nilai *Flow* sebesar 4,63 mm. Campuran yang memiliki angka *flow* rendah dengan stabilitas tinggi cenderung menjadi kaku. Namun bila campuran yang memiliki nilai *flow* tinggi dengan stabilitas rendah cenderung bersifat plastis dan mudah mengalami perubahan bentuk apabila mengalami pembebanan lalu lintas.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

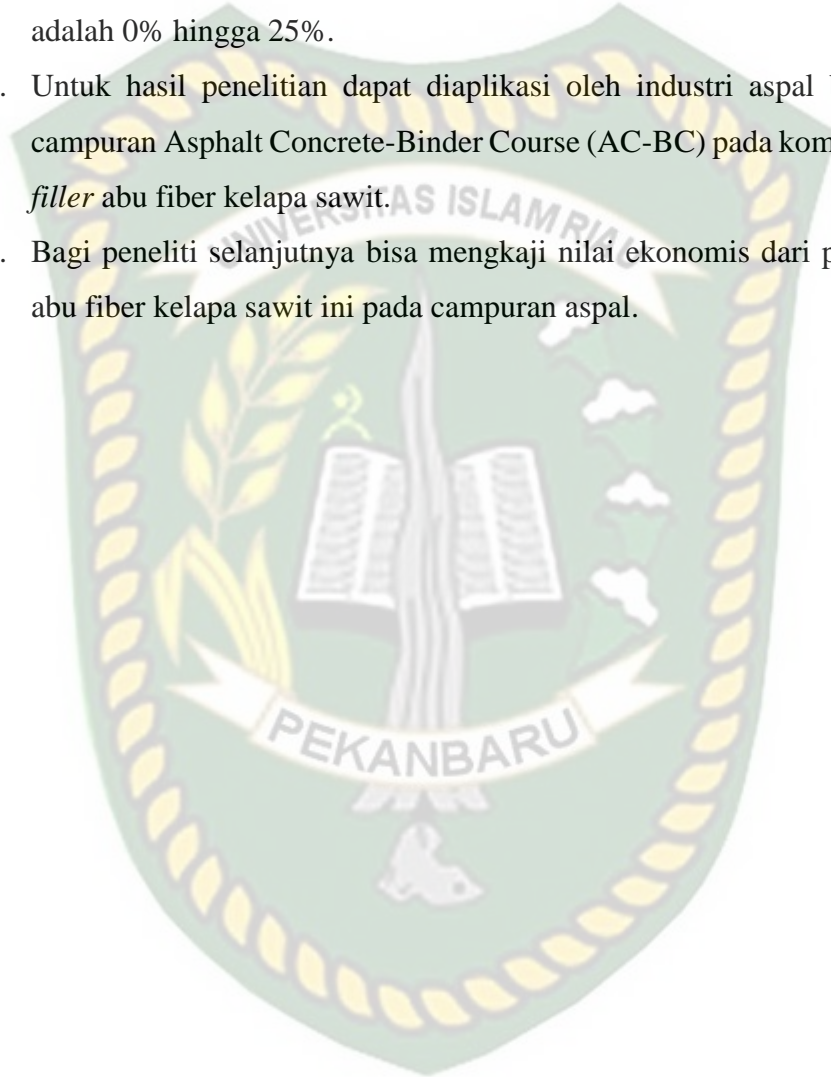
Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Pada variasi kadar aspal dengan persentase 4,5% ; 5% ; 5,5% ; 6% ; 6,5%, maka didapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO) yang diperoleh pada campuran AC-BC yaitu 5,67 %.
2. Hasil penelitian dari karakteristik *Marshall* pada campuran AC-BC terhadap pengaruh penggunaan *filler* abu fiber kelapa sawit 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% yaitu semakin besar campuran komposisi *filler* abu fiber kelapa sawit, maka nilai VMA dan VIM semakin rendah, sedangkan pada nilai VFA semakin tinggi. Untuk nilai VMA, VIM dan VFA masih memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018. Pada nilai stabilitas dan *flow* mengalami kenaikan dan penurunan pada setiap variasi abu fiber kelapa sawit yang dicampurkan. Untuk nilai stabilitas pada variasi 0% dan 25% mengalami kenaikan dari 826,646 Kg – 904,395 Kg, namun pada variasi 50% hingga 100% mengalami penurunan dari 812,059 kg – 766,566 Kg hingga melewati batas persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu minimum 800 Kg. Namun pada variasi 50% masih memenuhi persyaratan. Pada nilai *flow* pada variasi 0% dan 25% mengalami penurunan dari 3,93 mm – 3,57 mm, namun pada variasi 50% hingga 100% mengalami kenaikan dari 4,10 mm – 4,63 mm hingga melewati batas persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu minimum 2 mm dan maksimum 4 mm. Pada semua komposisi *filler* abu fiber kelapa sawit yang digunakan, hanya pada variasi 0% dan 25% yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Sedangkan untuk komposisi maksimum dari campuran *filler* abu fiber kelapa sawit didapat pada variasi 25% abu fiber kelapa sawit dengan nilai VMA sebesar 17,473%, VIM sebesar 4,780%, VFA sebesar 72,644%, Stabilitas sebesar 904,395 Kg dan *Flow* 3,57 mm.

6.2 Saran

Berdasarkan dari hasil penelitian, maka diusulkan beberapa saran yaitu sebagai berikut :

1. Bagi peneliti selanjutnya perlu dilakukan penelitian yang sama namun dengan variasi campuran *filler* abu fiber kelapa sawit yang digunakan adalah 0% hingga 25%.
2. Untuk hasil penelitian dapat diaplikasi oleh industri aspal beton pada campuran Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) pada komposisi 25% *filler* abu fiber kelapa sawit.
3. Bagi peneliti selanjutnya bisa mengkaji nilai ekonomis dari penggunaan abu fiber kelapa sawit ini pada campuran aspal.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, N., & Abrar, A. (2020). Pengaruh Pemakaian Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit pada Campuran Aspal Terhadap Stabilitas Nuryasin. *Jurnal Unilak*, 6(2), 174–180.
- Allyfer, R. (2016). *Pengaruh Penggunaan Filler Abu vulkanik Gunung Sinabung Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran AC-WC*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau, Pekanbaru.
- Alwi, S., Putrawirawan, A., & Hidayat, R. (2020). Pengaruh Penggunaan Abu Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Politeknik Negeri Samarinda*, 12(2).
- Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang. (2014). Konstruksi Perkerasan Lentur (Flexible Pavement). 23 July 2014. <https://dpupr.grobogan.go.id/info/artikel/29-konstruksi-perkerasan-lentur-flexible-pavement>, diakses pada 30 November 2021 pukul 19:04.
- Fahmi, A. M., Irwan, & Amsuardiman. (2021). Analisis Pengaruh Aspal Modifikasi Dengan Penambahan Abu Cangkang Sawit Terhadap Kinerja Perkerasan Aspal. (*Journal of Civil Engineering, Building and Transportation*), 5(September), 64–68.
- Hardiyatmo, H. C. (2007). *Pemeliharaan Jalan Raya (Cetakan Pertama)*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Hendarsin, S. L. (2000). *Perencanaan Teknik Jalan Raya (Jilid 1)*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2018). *Spesifikasi Umum Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan* (Issue September). Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Kurnia, A. Y., Pataras, M., Arliansyah, J., Firmansyah, J., & Chandra, Y. C. (2017). Pemanfaatan Limbah Cangkang Dan Abu Tandan Sawit Terhadap Karakteristik Laston Wearing Course Dan Binder Course. *Prosiding Simposium II-UNIID 2017, September*, 507–512.
- Muhardi & Satibi, Syawal. (2014). Karakteristik Kimia, Fisik dan Mekanik Abu Batu Bara Terbang dan Abu Dasar. *Jurnal Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau*.
- Nofriandi, R. (2020). *Pengaruh Penambahan Abu Batang Jagung Terhadap Karakteristik Marshall Pada Aspal AC-WC*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau, Pekanbaru.
- Pratama, A., Wiyono, S., & Harmiyati. (2016). Pengaruh Abu Vulkanik Gunung Sinabung Sebagai Bahan Pengganti Filler AC-WC Terhadap Karakteristik Marshall. *Prosiding Seminar Nasional "Pelestarian Lingkungan & Mitigasi*

Bencana", 1–10.

Puri, A., & Dunand, H. (2006). Pengaruh Penambahan Abu Sawit Sebagai Bahan Pengisi Terhadap Karakteristik Marshall Material Beton Aspal. *9 Nomor 2*, 103–112.

SNI 03-1970-1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Standarisasi Nasional.

SNI 03-1969-1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Nasional.

SNI ASTM C136-2012. *Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Nasional.

Sukirman, S. (1993). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.

Sukirman, S. (1995). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.

Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Granit.

Sukirman, S. (2016). *Beton Aspal Campuran Panas* (Edisi Ketiga). Bandung: Institut Teknologi Nasional.

Zahrina, I. (2007). Pemanfaatan Abu Sabut dan Cangkang Sawit Sebagai Sumber Silika Pada Sintesis ZSM-5 Dari Zeolit Alam. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 6 (2), 31–34.