

**PENGARUH PENAMBAHAN LIGNIN TERHADAP KARAKTERISTIK  
MEKANIK CAMPURAN ASPAL PANAS**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**APIS PRADA RAMADHAN**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2019**

## **ABSTRAK**

### **Pengaruh Penambahan Kadar Lignin Terhadap Karakteristik Mekanik Campuran Aspal Panas**

**Oleh:**

**APIS PRADA RAMADHAN**

Kebutuhan bahan aspal sebagai salah satu bahan pembuatan prasarana jalan tidak diiringi dengan peningkatan kualitasnya, sehingga perlu dilakukan peningkatan bahan aspal guna memeperpanjang umur perkerasan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan variasi kadar lignin pada aspal penetrasi 60/70 terhadap karakteristik *Marshall* dan mencari kadar lignin terbaik. Dilakukan pengujian dengan variasi penambahan kadar lignin sebesar 0%, 3%, 6% dengan suhu rendaman standar pengujian dan suhu percobaan sesuai dengan kondisi cuaca di Indonesia yang mempunyai dua musim, yaitu musim panas dan musim penghujan yang disimulasikan dengan variasi suhu rendaman 45°C dan suhu tinggi 75°C, selanjutnya akan dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu yang menggunakan aspal termodifikasi Jaya Aspal Polimer (JAP) dan Taftpack-Super (TPS) 5%.

Kata kunci : AC-WC, Aspal Modifikasi, Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

## **ABSTRACT**

### **Effect Of Adding Lignin Levels To The Mechanical Characteristics Of Hot Asphalt Mixtures**

**By**

**APIS PRADA RAMADHAN**

The need for asphalt material as one of the materials for making road infrastructure is not accompanied by an increase in its quality, so it is necessary to increase the asphalt material to prolong the life of the pavement. This study was conducted to determine the effect of adding lignin variation on 60/70 penetration asphalt to Marshall characteristics and looking for the best lignin content. Tests were carried out with variations in lignin content of 0%, 3%, 6% with the test bath immersion temperature and experimental temperature according to weather conditions in Indonesia which have two seasons, namely summer and rainy season which are simulated with variations in bath temperature of 45°C and high temperatures of 75°C, then compared with the results of previous studies using modified Jaya Asphalt Polymer (JAP) and Taftpack-Super asphalt (TPS ) 5%.

**Keywords:** AC-WC, Asphalt Modification, Time Strength Index (IKS)

**PENGARUH PENAMBAHAN LIGNIN TERHADAP KARAKTERISTIK  
MEKANIK CAMPURAN ASPAL PANAS**

**Oleh  
APIS PRADA RAMADHAN**

**Skripsi**

**Sebagai Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2019**

Judul Skripsi

: **PENGARUH PENAMBAHAN LIGNIN  
TERHADAP KARAKTERISTIK MEKANIK  
CAMPURAN ASPAL PANAS**

Nama Mahasiswa

: **Apis Prada Ramadhan**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1345011004

Program Studi

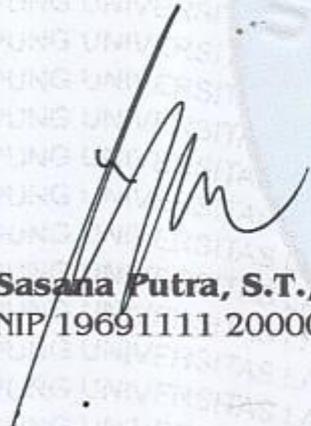
: Teknik Sipil

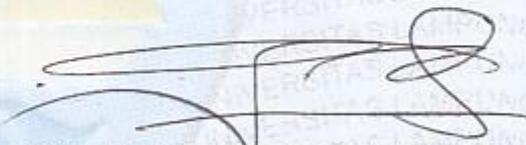
Fakultas

: Teknik

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

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

  
**Drs. I Wayan Diana, S.T., M.T.**  
NIP 19570210 198503 1 003

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil

  
**Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D.**  
NIP 19700915 199503 1 006

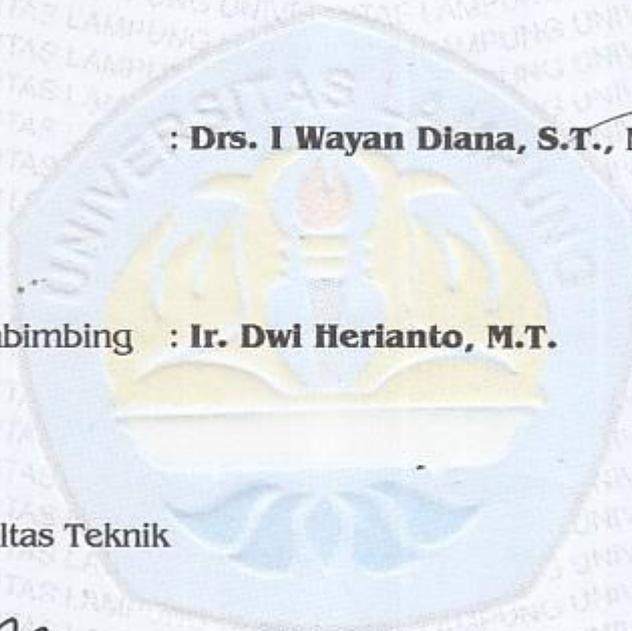
## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

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

Sekretaris : **Drs. I Wayan Diana, S.T., M.T.**

Penguji  
Bukan Pembimbing : **Ir. Dwi Herianto, M.T.**



### 2. Dekan Fakultas Teknik

**Prof. Dr. Suharno, M.Sc.**  
NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **Februari 2019**

## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa :

1. Skripsi dengan judul Pengeruh “Penambahan Lignin Terhadap Karakteristik Mekanik Campuran Aspal Panas” adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau mengutip atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai dengan tata etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut engan plagiarism
2. Hak intelektual dalam penelitian ini sepenuhnya diserahkan kepada Penulis dan Pembimbing 1.

Atas pernyataan ini apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai dengan hukum yang beralaku.

Bandar Lampung                      2019

Pembuat Pernyataan



Apis Prada Ramadhan

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Palembang pada tanggal 13 Februari 1995, anak pertama dari tiga bersaudara dari keluarga pasangan Bapak Ahmad Fadilah Jamirin dan Ibu Musri.

Penulis mengawali studi di Taman Kanak-Kanak PGRI Catur Karya Buana Jaya pada tahun 1999, kemudian melanjutkan ke SD Negeri 1 Catur Karya Buana Jaya Tulang Bawang, Lampung pada tahun 2001 dan lulus pada tahun 2007. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan studi ke SMP Negeri 1 Banjar Margo Tulang Bawang, Lampung dan lulus pada tahun 2009. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan studi ke SMA HMPTI Tulang Bawang, Lampung dan lulus pada tahun 2013. Kemudian penulis melanjutkan kejenjang Perguruan Tinggi Negeri Universitas Lampung dan terdaftar pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil (S1) pada tahun 2013.

Pada tahun 2013-2015 Penulis menjabat sebagai anggota dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS). Selain aktif dalam Himpunan jurusan Teknik Sipil, penulis juga aktif pada Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Mapala Universitas Lampung (MAPALA UNILA) menjabat sebagai Badan Pendidikan dan Latihan pada tahun 2015-2016 dan Bendahara umum pada tahun 2017-2018. Penulis telah menyelesaikan Kerja Praktik pada Proyek Pembangunan Gedung Inovasi dan Inkubasi Institut Teknologi Sumatra (ITERA) di Jalan Ryacudu

Bandar Lampung selama tiga bulan pada tahun 2017 dan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di desa Seputih Banyak Lampung selatan selama 40 hari. Pada tahun ajaran 2017-2018 penulis diangkat sebagai asisten dosen pada Laboratorium Inti Jalan Raya dan kembali menjadi asisten dosen praktikan Perkerasan Jalan Raya Satu Mahasiswa ITERA pada tahun yang sama.

## PERSEMBAHAN

Teriring do'a dan cinta,  
Skripsi ini saya persembahkan kepada orang-orang yang saya  
sayangi  
untuk Bapak dan Ibu ku tersayang, adik-adiku, Guru-guru,  
Saudara dan teman-teman terima kasih atas semua dukungan  
dan kasih sayang yang telah diberikan.

## **MOTTO**

“ Menjadi Manfaat, Semakin Banyak Bermanfaat Maka Akan Menjadi D’oa Untuk  
Kita”

## SANWACANA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia serta ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**PENGARUH PENAMBAHAN LIGNIN TERHADAP KARAKTERISTIK MEKANIK ASPAL PANAS**” tepat pada waktunya, sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana teknik pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung. Pada penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapatkan bantuan, dukungan, bimbingan, dan pengarahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengungkapkan rasa terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Bapak Irza Sukmana, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
2. Bapak Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung;
3. Bapak Sasana Putra, S.T., M.T., sebagai Pembimbing I dan Pembimbing Akademik yang selalu memberikan bimbingan, saran, nasehat, dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini;

4. Bapak Drs. I Wayan Diana. S.T., M.T., sebagai Pembimbing II yang selalu memberikan bimbingan, saran, nasehat, dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini;
5. Bapak Ir. Dwi Herianto, M.T. sebagai dosen penguji skripsi saya yang telah memberikan saran dan kritik dalam menyempurnakan dan melengkapi skripsi penulis ini;
6. Keluargaku Ibu (Musri), Bapak (Ahmad Fadillah Jamirin), Adik-adikku (Afriza Danian mazda, Andrean Meiza Rinaldi), yang selalu tulus memberi cinta kasih, do'a, nasihat, dukungan dan semangat kepada penulis terima kasih banyak.
7. Seluruh staf pengajar dan karyawan di lingkungan Jurusan Teknik Sipil, khususnya Laboratorium Inti Jalan Raya Universitas Lampung, atas apa yang telah penulis rasakan manfaatnya.
8. Teman seperjuangan skripsi penulis, Raditya Rukmananda, Mohd. Yudha Putra, Indah Marlina, Wayan Anggi yang telah bekerja sama dengan baik;
9. Mahasiwa dan Mahasiswi angkatan 2017-2013 yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu karena telah membantu penulis selama penelitian di laboratorium;
10. Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung Khususnya angkatan saya (2013).
11. Kiyay dan kanjeng serta rekan-rekan Mahasiswa Pecinta Alam Universitas Lampung dan tidak lupa angkatan Krisis 24 Mapala Unila, yang telah memberikan ilmu serta menjadikan pintu pembuka saya mendapatkan

saudara dan pengalaman-pengalaman baru. Saya ucapkan sukses Mapala Unila, Amin.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan dan ketulusan semua pihak yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini dengan melimpahkan rahmat dan karunia-Nya.

Penulis berharap skripsi ini bisa menjadi referensi bagi pembaca mengenai perkerasan jalan. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, baik dari segi isi maupun cara penyampaiannya. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan saran serta kritik yang bersifat membangun dari pembaca. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Bandar Lampung, Januari 2019

Penulis

**APIS PRADA RAMADHAN**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	i
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	v
<b>1. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1.Latar Belakang .....	1
1.2.Rumusan Masalah.....	3
1.3.Tujuan Penelitian .....	3
1.4.Batasan Masalah .....	3
1.5.Manfaat Penelitian .....	3
1.6.Sistematika Penulisan .....	4
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1. Aspal .....	5
2.2. <i>Asphalt Concrete Wearing Coarse (AC-WC)</i> .....	6
2.3. Karakteristik Campuran Beraspal .....	9
2.4. Kadar Aspal Rencana.....	11
2.5. Metode <i>Marshall</i> .....	12
2.6. Indeks Kekuatan Sisa.....	13
2.7. Aspal Termodifikasi ( <i>AsphaltModified</i> ) .....	13
2.8.Bahan Pengikat Alami .....	17
2.9.Bahan Tambahan .....	18
2.10. Penelitian Terdahulu.....	22
<b>3. METODE PENELITIAN</b> .....	26
3.1. Tempat Penelitian .....	26
3.2. Bahan .....	26
3.3. Peralatan.....	26
3.4. Tahap Penelitian.....	28
3.5. Diagram Alir .....	34

<b>4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>35</b>
4.1. Pengujian Bahan .....	35
4.2. Perencanaan Campuran Beraspal.....	38
4.3. Pengaruh Penambahan Lignin Terhadap Karakteristik <i>Marshall</i> .....	43
4.4. Pengaruh Kadar Lignin Terhadap Suhu Perendaman.....	46
4.5. Durabilitas Aspal Termodifikasi.....	51
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>53</b>
5.1. Kesimpulan .....	53
5.2. Saran .....	54

**DAFTAR PUSTAKA .....**

**LAMPIRAN A**

**LAMPIRAN B**

**LAMPIRAN C**

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Ketentuan Aspal Keras Penetrasi 60/70.....	6
2. Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston AC-WC .....	7
3. Spesifikasi campuran Aspal Modifikasi .....	8
4. Gradasi Gabungan Agregat AC-WC .....	8
5. Spesifikasi Aspal Modifikasi .....	16
6. Kadar Lignin Rata-rata Beberapa Jenis Kayu .....	19
7. Komponen Kimia Tempurung Kelapa .....	23
8. Standar Pemeriksaan Agregat .....	28
9. Hasil Pengujian Bahan Aspal.....	35
10. Hasil Pengujian Agregat .....	36
11. Hasil Analisis Saringan Agregat Kasar, <i>Screening</i> , dan Halus.....	37
12. Proporsi Agregat .....	38
13. Presentase Agregat .....	40
14. Perkiraan Nilai Kadar Aspal .....	40
15. Hasil pengujian <i>marshall</i> rendaman 60 <sup>0</sup> .....	43
16. Nilai stabilitas pasca perubahan suhu .....	47
17. Nilai Kelelahan Pasca Perubahan Suhu .....	48
18. Nilai MQ Pasca Perubahan Suhu .....	50
19. Hasil Pengujian Durabilitas .....	51

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Molekul Hidrokarbon Alifatik dan <i>Aromatic</i> .....	15
2. Struktur Ikatan Kimia Lignin .....	21
3. Diagram Alir .....	34
4. Grafik Gradasi Agregat Hasil Analisis Saringan. ....	38
5. Kurva Gradasi Agregat pada Campuran. ....	39
6. Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas, <i>FLOW</i> , <i>VIM</i> , <i>VMA</i> , <i>VFB</i> , <i>DENSITY</i> , <i>MQ</i> , .....	41
7. Grafik Hubungan Penambahan Lignin dengan Stabilitas .....	44
8. Grafik hubungan penambahan lignin terhadap <i>Flow</i> .....	45
9. Grafik Hubungan Penambahan Lignin dengan <i>MQ</i> .....	46
10. Grafik hubungan penambahan lignin terhadap <i>VMA</i> , <i>VIM</i> , <i>VFA</i> , <i>Density</i> .....	46
11. Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas dengan Suhu Perendaman .....	47
12. Grafik Perbandingan Nilai Kelelehan Dengan Suhu .....	49
13. Grafik Perbandingan Nilai <i>MQ</i> Dengan Suhu .....	50
14. Grafik Nilai Indeks Kekuatan Sisa.....	51

## DAFTAR NOTASI

AC-WC	= <i>Asphalt Concrete - Wearing Course</i>
ACV	= <i>Aggregate Crushing Value</i>
AIV	= <i>Aggregate Impact Value</i>
KAO	= <i>Kadar Aspal Optimum (%)</i>
CA	= <i>Coarse aggregate (%)</i>
FA	= <i>Fine aggregate (%)</i>
FF	= <i>Filled filler (%)</i>
K	= <i>Nilai Konstanta</i>
SSD	= <i>Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan</i>
JMF	= <i>Job Mix Formula</i>
V	= <i>Volume (cm<sup>3</sup>)</i>
<i>Flow</i>	= <i>Kelelehan (mm)</i>
<i>Gmm</i>	= <i>Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pepadatan (gr/cm<sup>3</sup>)</i>
JAP	= <i>Jaya Aspal Polimer</i>
TPS	= <i>Taftpack-Super</i>
KAO	= <i>Kadar Aspal Optimum (%)</i>
VMA	= <i>Void In Mineral Agregat (%)</i>
VIM	= <i>Void In Mix (%)</i>
VFA	= <i>Void Filled with Asphalt (%)</i>

MQ = *Marshall Quotient* (Kg/mm)

*Stability* = Beban maksimum terhadap beban (Kg)

Pb = Kadar aspal optimum rencana (%)

IKS = Indeks Kekuatan Sisa

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Pertumbuhan penduduk dan perkembangan industri akan meningkatkan volume lalu lintas. Kondisi tersebut harus diiringi dengan konstruksi jalan yang berkualitas, terutama dari kualitas lapis perkerasan untuk memberikan keamanan dan kenyamanan. Pada umumnya di Indonesia digunakan Aspal sebagai salah satu material yang dipilih sebagai bahan pembuatan jalan raya, material ini dipilih karena hasil akhirnya yang baik dan nyaman sebagai perkerasan *fleksibel*. Namun, peningkatan kebutuhan akan infrastruktur jalan setiap tahunnya, tidak diiringi dengan kemampuan pemenuhan kebutuhan aspal tersebut. Kebutuhan aspal Nasional untuk pembangun jaringan jalan saat ini mencapai 1,2 juta ton per tahun, sedangkan PERTAMINA hanya mampu memproduksi 600 juta ton per tahun. Mengenai hal ini perlu peningkatan mutu aspal dalam campuran beraspal sehingga dapat memaksimalkan ketersediaan material aspal yang ada seperti, peningkatan stabilitas, durabilitas, dan ketahanannya terhadap air. Hingga saat ini telah banyak dilakukan perbaikan kualitas aspal dengan menambahkan bahan tambahan dalam campuran yang sifatnya mampu mengatasi kelemahan yang dimiliki campuran aspal yang disebut aspal modifikasi.

Aspal modifikasi mulai di perkenalkan di luar negeri lebih dari 15 tahun lalu (Caribit, Cariphat, Mexphalt, Superphalt, dan lainnya). Di Indonesia sendiri mulai diperkenalkan pada tahun 1995 (KRTJ padang) oleh shell, produksi lokal aspal modifikasi di gelar tahun 1996 di jalan tol simatupang berupa lapis tipis di atas lapis perkerasan beton semen dengan hasil mencapai lebih dari 12 tahun (aspal + lateks + selulosa).

Dalam spesifikasi teknis Bina Marga 2010 ada 3 jenis aspal modifikasi yang dapat di gunakan yakni Asbuton, Elastomer Alam, Elastomer Sintetis. Hingga saat ini telah banyak di lakukan penelitian-penelitian mengenai peningkatan mutu aspal, namun masih mempunyai kelemahan masing-masing.

Lignin adalah komponen utama penyusun kayu selain selulosa dan hemiselulosa. Lignin terdiri dari molekul senyawa polifenol yang berfungsi sebagai pengikat sel-sel kayu satu sama lain, sehingga menjadi keras dan kaku, selain itu mampu meredam kekuatan mekanis yang dikenakan terhadapnya. Oleh sebab itu lignin dapat dimanfaatkan sebagai bahan perekat pada kayu lapis, komposit dan berbagai produk kayu lainnya. (Falah, 2012).

Berdasarkan hal tersebut penelitian ini menggunakan Lignin sebagai bahan tambahan campuran aspal untuk meningkatkan kualitas campuran beraspal.

## 1.2 Rumusan Masalah

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penambahan lignin terhadap karakteristik campuran beraspal.

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan kadar lignin yang memenuhi standar campuran beraspal.
2. Menentukan durabilitas dengan variasi suhu perendaman.

## 1.4 Batasan Masalah

Masalah pada penelitian ini dibatasi pada sifat-sifat dan karakteristik campuran aspal, serta melakukan pengujian sampel benda uji di Laboratorium Inti Jalan Raya Universitas Lampung. Adapun ruang lingkup penelitian ini terbatas pada:

1. Campuran aspal yang dipakai berupa Laston (*AC*).
2. Karakteristik campuran aspal yang diukur adalah Stabilitas, *Flow*, *void in the mix (VIM)*, *void in mineral agregat (VMA)*, dan *voids filled bitume (VFB)*.
3. Untuk mencari tingkat durabilitas digunakan parameter indeks kekuatan sisa.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya kajian ini, diharapkan dapat memberikan informasi kepada pihak-pihak terkait tentang cara meningkatkan kualitas campuran beraspal.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Dalam penulisan skripsi ini digunakan sistematika penulisan sebagai berikut:

### **Bab 1 Pendahuluan**

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

### **Bab II Tinjauan Pustaka**

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

### **Bab III Metodologi Penelitian**

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

### **Bab IV Hasil dan Pembahasan**

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

### **Bab V Kesimpulan dan Saran**

Bab ini akan berisi kesimpulan yang diambil dari penelitian ini dan saran.

Pada akhir penulisan skripsi ini akan dilampirkan daftar pustaka sebagai referensi penunjang yang digunakan dan lampiran yang berisikan data-data penunjang dalam proses pengolahan data.

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1. Aspal**

Aspal merupakan hasil destilasi minyak bumi yang memiliki sifat viskoelastis, yang akan mengalami perubahan berdasarkan suhu yang diterimanya. Aspal akan menjadi lunak dan cair apabila mendapatkan pemanasan yang cukup dan akan mengeras pada saat penyimpanan (suhu kamar). Aspal dibedakan berdasarkan tingkat kekerasannya (nilai penetrasi). Di Indonesia umumnya aspal yang dipergunakan adalah aspal penetrasi 60/70 atau aspal penetrasi 80/100. Untuk aspal penetrasi rendah digunakan pada daerah bercuaca panas dengan volume lalu lintas padat sedangkan pada daerah bercuaca dingin dengan volume lalu lintas rendah digunakan aspal penetrasi tinggi.

Berikut merupakan jenis-jenis penetrasi aspal:

1. AC Pen 40/55
2. AC Pen 60/70
3. AC Pen 80/100
4. AC Pen 120/150
5. AC Pen 200/300

Spesifikasi aspal keras penetrasi 60/70 diperlihatkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Ketentuan Aspal Keras Penetrasi 60/70

No	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen.60- 70	Tipe II Aspal yang Dimodifikasi	
				A <sup>(1)</sup> Asbuton yang diproses	B Elastomer Sintetis
1.	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60-70	Min.50	Min.40
2.	Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s)	SNI 06-6441-2000	160 - 240	240 - 360	320 - 480
3.	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	SNI 06-6441-2000	300	385 – 2000	≤ 3000
4.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48	≥ 53	≥ 54
5.	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	≥ 100	≥ 100
6.	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232	≥ 232	≥ 232
7.	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-03	≥ 99	≥ 90 <sup>(1)</sup>	≥ 99
8.	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0	≥ 1,0	≥ 1,0
9.	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976 part 6.1	-	≤ 2,2	≤ 2,2
10.	Partikel yang lebih halus dari 150 micron (µm) (%)			Min. 95 <sup>(1)</sup>	-
11.	<b>Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT(SNI-03-6835-2002) :</b>				
12.	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 0,8
13.	Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s)	SNI 03-6441-2000	≤ 800	≤ 1200	≤ 1600
14.	Penetrasi pada 25°C (%)	SNI 06-2456-1991	≥ 54	≥ 54	54
15.	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	≥ 50	25
16.	Keelastisan setelah Pengembalian (%)	AASHTO T 301-98	-	-	≥ 60

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2010 Divisi 6 Tabel 6.3.2.5

## 2.2. Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)

Beton aspal merupakan jenis aspal perkerasan jalan dari campuran aspal dan agregat, tanpa bahan tambahan maupun tidak. Berbagai macam material yang digunakan untuk membentuk beton aspal dicampur diinstalasi pencampuran pada suhu tertentu setelah itu dibawa kelokasi, dilakukan penghamparan dan kemudian dipadatkan.

Penentuan suhu pencampuran dibedakan berdasarkan pada jenis aspal yang akan dipergunakan. Jika semen aspal, suhu pencampuran umumnya antara 145- 155°C, sehingga disebut dengan beton aspal campuran panas atau dikenal dengan *Hotmix*. (Silvia Sukirman, 2003).

Hingga saat ini *AC-WC* banyak digunakan untuk lapis permukaan teratas pada perkerasan jalan raya yang mempunyai tekstur halus dan mempunyai gradasi menerus, sehingga akan mengurangi rongga pada struktur agregatnya bila dibandingkan dengan gradasi senjang.

Dalam Penelitian ini digunakan spesifikasi yang dikeluarkan oleh Dinas Permukiman dan Wilayah bersama Bina Marga yang dapat dilihat pada tabel 2.2 dan 2.3.

Tabel 2.2 Ketentuan Campuran Laston *AC-WC*

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112 (1)
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.	1,0		
	Maks.	1,4		
Rongga dalam campuran (%) (2)	Min.	3,0		
	Maks.	5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min.	800		1800 (1)
Pelelehan (mm)	Min.	3		4,5
	Maks	4		6 (1)
Stabilitas <i>Marshall</i> Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C (3)	Min.	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)(4)	Min.	2,5		

Sumber: Dokumen pelelangan nasional pekerjaan jasa pelaksanaan konstruksi Spesifikasi Umum 2010 Divisi 6 Tabel 6.3.3.(1c)

Tabel 2.3 Spesifikasi Campuran Aspal Modifikasi

Sifat-sifat Campuran		Laston <sup>(6)</sup>		
<b>Jumlah tumbukan per bidang</b>		<b>75</b>		<b>112 (1)</b>
Rasio partikel lolos ayakan 0,075mm dengan kadar aspal efektif	Min.	1,0		
	Maks.	1,4		
Rongga dalam campuran (%) <sup>(2)</sup>	Min.	3,0		
	Maks.	5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min.	1000		2250 <sup>(1)</sup>
Pelelehan (mm)	Min.	2		3
	Maks.	4		6 (1)
Stabilitas <i>Marshall</i> Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C <sup>(3)</sup>	Min.	90		
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal) <sup>(4)</sup>	Min.	2		
Stabilitas Dinamis, lintasan/mm <sup>(5)</sup>	Min.	2500		

Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2010 Divisi 6 Tabel 6.3.3.(1d)

Gradasi agregat gabungan yang digunakan pada campuran aspal AC-WC ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan *filler* sesuai dengan batas-batas yang telah ditetapkan oleh Bina Marga (2010) yang akan diperlihatkan pada tabel 2.4.

Tabel 2.4. Gradasi agregat gabungan AC-WC

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat yang Lolos Terhadap Total Agregat dalam Campuran		
	Lapis Aspal Beton (AC)		
37,5	-	-	100
25	-	100	90 - 100
19	100	90 - 100	76 - 90
12,5	90 - 100	75 - 90	60 - 78
9,5	77 - 90	66 - 82	52 - 71
4,75	53 - 69	46 - 64	35 - 54
2,36	33 - 53	30 - 49	23 - 41
1,18	21 - 40	18 - 38	13 - 30
0,600	14 - 30	12 - 28	10 - 22
0,300	9 - 22	7 - 20	6 - 15
0,150	6 - 15	5 - 13	4 - 10
0,075	4 - 9	4 - 8	3 - 7

Sumber: Direktorat jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2010 Divisi 6 Tabel 6.3.2(3)

### 2.3. Karakteristik Campuran Beraspal

Menurut Silvia Sukirman (2003), terdapat tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal, ketujuh karakteristik campuran beraspal tersebut adalah stabilitas, kelenturan, keawetan, atau fleksibilitas, ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kekesatan permukaan atau ketahanan geser (*skid resistance*), kedap air dan kemudahan dalam pelaksanaan dilapangan (*workability*).

Dibawah ini adalah penjelasan dari ketujuh karakteristik tersebut:

#### 1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban yang diberikan lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan *bleending*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan mayoritas kendaraan berat membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi.

#### 2. Durabilitas

Durabilitas merupakan kemampuan perkerasan menahan terjadinya perubahan terhadap beban yang diterima, seperti kehancuran agregat dan pengelupasan selaput aspal pada agregat. Faktor-faktor eksternal yang dapat mempengaruhi durabilitas campuran beraspal adalah air, suhu dan keausan agregat akibat gesekan dengan roda kendaraan.

### 3. Kelenturan

Kelenturan atau fleksibilitas adalah kemampuan beton aspal beradaptasi akibat penurunan (konsolidasi/*settlement*) dan pergerakan dari pondasi atau tanah bagian dasar, tanpa terjadi retak (*cracking*). Penurunan terjadi akibat dari repetisi beban lalu lintas ataupun akibat beban sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli.

### 4. Ketahanan terhadap lelah (*fatigue resistance*)

Merupakan kemampuan beton aspal untuk mengalami lendutan berulang akibat repetisi beban lalu lintas, tanpa mengalami kelelahan berupa alir dan retak (*cracking*). Hal ini dapat terjadi jika menggunakan kadar aspal yang terlalu tinggi.

### 5. Kekesatan

Kekesatan atau tahanan geser adalah kemampuan permukaan beton aspal memberikan daya cengkram terhadap roda kendaraan terutama pada kondisi basah, sehingga kendaraan tidak tergelincir atau slip. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan beton aspal sama dengan untuk mendapatkan nilai stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan agregat, luas bidang kontak antar butir, gradasi agregat, kepadatan campuran beton aspal dan tebal film.

### 6. Kedap air

Merupakan kemampuan beton aspal terhadap air atau adhesi yang tinggi, sehingga air tidak dapat menembus lapisan beton aspal dan menjaga ikatan antara aspal dengan agregat yang dapat mengakibatkan

percepatan proses penuaan aspal dan pengelupasan selimut aspal dari permukaan agregat.

#### 7. *Workability*

Merupakan kemudahan dalam pengerjaan seperti penghamparan dan pemadatan. Kemudahan dalam pelaksanaan menentukan tingkat efisiensi suatu pekerjaan. Faktor yang mempengaruhi *workability* yaitu viskositas aspal, kelekatan aspal terhadap perubahan suhu dan gradasi serta kondisi agregat.

### 2.4. Kadar Aspal Rencana

Kadar aspal optimum merupakan kadar aspal yang bisa menghasilkan sifat campuran paling baik. Nilai kadar aspal optimum didapat dari hasil evaluasi parameter *marshall* seperti stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient* (MQ), rongga udara dalam campuran (VIM), rongga dalam mineral agregat (VMA), rongga terisi aspal (VFA) dan kepadatan. Penggunaan kadar aspal yang rendah mengakibatkan perkerasan jalan menjadi mudah runtuh, sedangkan penggunaan kadar aspal yang terlalu banyak mengakibatkan aspal *bleeding*. Perkiraan awal kadar aspal optimum dapat direncanakan setelah dilakukan pemilihan dan pengabungan pada tiga fraksi agregat. Sedangkan perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$P_b = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%FF) + K \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

$P_b$  = Perkiraan kadar aspal optimum

CA = Nilai presentase agregat kasar

FA = Nilai presentase agregat halus

FF = Nilai presentase *Filler*

K = konstanta (kira-kira 0,5 - 1,0)

Hasil perhitungan Pb dibulatkan ke 0,5% ke atas terdekat.

## 2.5. Metode *Marshall*

Metode *Marshall* ditemukan oleh Bruce Marshall. Pengujian *Marshall* bertujuan untuk mengetahui daya tahan (*stability*) campuran agregat dan aspal terhadap kelelahan plastis (*flow*). Alat *Marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan cincin penguji (*Proving ring*) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) dan *flowmeter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan *flowmeter* untuk mengukur kelelahan plastis atau *flow*.

Benda uji *Marshall* standar berbentuk silinder dengan diameter 4 inch (10,16 cm) dan tinggi 2,5 inch (6,35 cm).

Hasil pengujian akan menunjukkan karakteristik *Marshall*, karakteristik dipengaruhi oleh sifat-sifat campuran beraspal yaitu: kepadatan, rongga diantara agregat (VMA), rongga terisi aspal (VFA), rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam campuran pada kepadatan, stabilitas, kelelahan serta *Marshall Quotient* (MQ) yang diperoleh dari hasil pembagian dari stabilitas dengan *flow* dan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$MQ = \frac{S}{F} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm)

S = nilai stabilitas terkoreksi (kg)

F = nilai flow (mm)

## 2.6. Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Indeks kekuatan sisa merupakan parameter pengukuran kepadatan yang tinggi atau VIM yang kecil untuk mengurangi infiltrasi air agar dapat mempertahankan satabilitas campuran beraspal akibat beban yang diterimanya. Perendaman dilakukan dengan cara merendam benda uji kedalam *water bath* pada suhu 60°C selama 30 menit dan 24 jam.

$$IKS = \frac{S2}{S1} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

IKS = Indeks Kekuatan Sisa (%), Harus lebih besar dari (90%)

S1 = Stabilitas hasil rendaman 30 menit pada suhu 60°C (Kg)

S2 = Stabilitas hasil rendaman 24 jam pada suhu 60°C (Kg)

Bina Marga menyaratkan nilai IKS minimum 90%. Nilai IKS diatas 90% menandakan bahwa campuran beraspal masih dianggap cukup tahan terhadap kerusakan yang ditimbulkan oleh pengaruh air.

## 2.7. Aspal Termodifikasi (*Asphalt Modified*)

Aspal *modified* adalah suatu material yang dihasilkan dari campuran antara polimer alam atau polimer sintetis dengan aspal. Aspal modified telah dikembangkan selama beberapa dekade terakhir. Umumnya dengan sedikit penambahan bahan polimer (biasanya sekitar 2-6%) sudah dapat meningkatkan hasil ketahanan yang lebih baik terhadap deformasi, mengatasi keretakan-keretakan dan meningkatkan ketahanan dari kerusakan

akibat umur sehingga dihasilkan beton aspal lebih tahan lama dan dapat mengurangi biaya perawatan atau perbaikan jalan (Polacco, 2005).

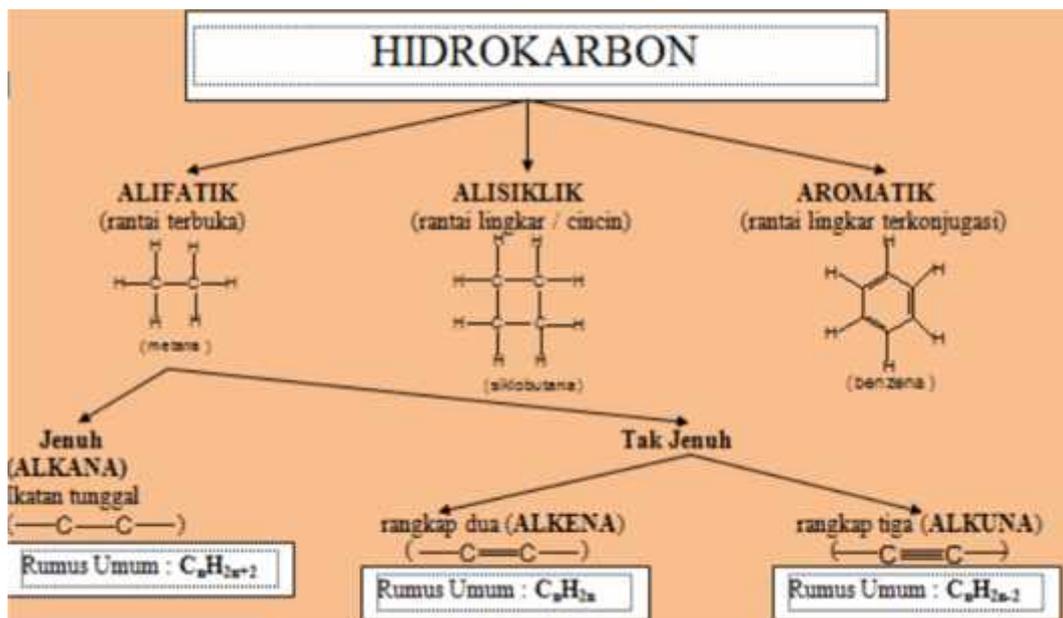
Penggunaan campuran aspal *modified* merupakan trend yang semakin meningkat. Tidak hanya karena faktor perekonomi, tetapi juga demi mendapatkan kualitas aspal yang lebih baik dan tahan lama. Aspal *modified* yang diperoleh dari interaksi antara komponen aspal dengan bahan pengikat alami (*Natural binder*) atau *aditif* polimer dapat meningkatkan sifat-sifat dari aspal tersebut. Dalam hal ini terlihat bahwa keterpaduan bahan pengikat alami (*Natural binder*) atau *aditif* polimer yang sesuai dengan campuran aspal. Penggunaan polimer sebagai bahan untuk memodifikasi aspal terus berkembang di dalam dekade terakhir (Fei-Hung, 2000).

Dengan kemajuan teknologi pada abad ini banyak dihasilkan bahan-bahan tambah aspal yang sering disebut *aditif*, yaitu suatu bahan yang dapat dicampurkan atau ditambahkan pada aspal atau batuan.

Untuk perlu diketahui mengenai susunan rangkaian dari atom yang ada pada aspal, menurut *G.T Austin*, ditinjau dari sudut kimia aspal merupakan suatu rangkaian atom atau *polymer*. Polimer satu dengan polimer satunya tidak berkaitan secara kuat karena adanya ikatan rangkap pada struktur molekul tersebut atau biasa disebut "*Co-polymer*". Sifat sifat *Co-polymer* tersebut secara umum bersifat antara lain:

1. Stabilitas yang rendah
2. Kurangnya ketahanan terhadap suhu.
3. Mudahnya mengikat atom bebas.

Adanya sifat-sifat yang kurang menguntungkan tersebut, para ahli berusaha menemukan bahan yang dapat memperbaiki sifat-sifat kimiawi aspal. Pada akhirnya ditemukan berbagai macam bahan tambah yang berfungsi sebagai katalisator reaksi kimia pada aspalnya. Lewat reaksi kimia katalisator ini dapat mengubah ikatan rangkap aspal menjadi ikatan-ikatan tunggal pada rantai panjang yang disebut polimer. Polimer bertindak sebagai katalisator untuk memperbaiki ikatan struktur molekul pada aspal. Aspal merupakan salah satu senyawa hidrokarbon, struktur molekul aspal sangatlah kompleks yang merupakan koordinasi dari 3 jenis molekul dasar hidrokarbon, yaitu alifatik siklis dan *aromatic* (Rianung, 2007).



Gambar 1. Molekul Hidrokarbon Alifatik Siklik dan *Aromatic*

Dengan memperbaiki ikatan struktur molekul pada aspal, dengan menambahkan bahan pengikat alami (*Natural binder*) atau aditif akan dapat merubah sifat-sifat aspal antara lain:

1. Meningkatkan stabilitas.
2. Mengurangi kepekaan terhadap temperatur.
3. Meningkatkan ketahanan terhadap perubahan bentuk.

Untuk memperbaiki sifat-sifat aspal, peneliti telah memusatkan perhatian pada aditif yang diperoleh dari pemanfaatan bahan pengikat alami (*Natural binder*), seperti lignin isolat kayu pinus (*pinus merkusii jungh et de vriese*). Untuk bahan-bahan polimer yang efektif digunakan pada beon aspal, haruslah yang dapat meningkatkan resistensi terhadap keretakan letih, mengurangi cakupan deformasi permanen dan mengurangi pengerasan pada suhu tinggi (King, 1986).

Berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga (2010 Revisi 3) sifat sifat aspal modifikasi, sebagaimana yang ditampilkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Spesifikasi Aspal Modifikasi.

No	Sifat	Metoda	Satuan	Aspal modifikasi
1	Penetrasi ( 25 °C, 100 gr, 5 detik)	SNI 06-2456-1991	0,1 mm	Min. 40
2	Titik lembek ( <i>ring and ball test</i> )	SNI 06-2434-2011	°C	Min. 54
3	Viskositas 135°C	SNI 06-6441-2000	cSt	Maks. 3000
4	Daktilitas (25 °C, 5 cm permenit)	SNI 06-2432-2011	cm	Min. 100
5	Berat jenis (25 °C)	SNI 06-2441-2011	gr/cm <sup>3</sup>	Min. 1
6	Penurunan Berat Minyak (TFOT)	SNI 06-2440-1991	%	Maks. 0,8

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga (2010) Revisi 3

## 2.8. Bahan Pengikat Alami

Bahan pengikat alami (*natural binder*) aspal adalah suatu bahan yang dipakai untuk ditambahkan pada aspal. Terrel & Epps (1988), penggunaan bahan pengikat alami (*natural binder*) atau aditif aspal merupakan bagian dari klasifikasi jenis aspal modified yang yang berunsur dari jenis karet alam, karet sintetis /buatan juga dari karet yang sudah diolah (dari ban bekas), dan juga dari bahan plastik. Adapun penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya yaitu:

1. Badan Litbang Dep PU (2007), telah melakukan pengujian dengan menggunakan bahan pengikat alami (*natural binder*) berupa karet alam (Lateks KKK.60) untuk meningkatkan mutu perkerasan jalan beraspal sebesar 3% dari berat aspal minyak dengan hasil pengujian dapat memperbaiki karakteristik aspal konvensional, meningkatkan mutu perkerasan beraspal yang ditunjukkan dengan peningkatan modulus resilien dan kecepatan deformasi, meningkatkan umur konstruksi perkerasan jalan yang ditunjukkan percepatan terjadinya retak dan alur.
2. PT. Tunas Mekar Adiperkasa (2005) dengan produk aspal BituPlus®. Aspal BituPlus® menggunakan polimer elastomer atau dari bahan sejenis karet. Pengujian dilakukan dengan menggunakan aspal tersebut pada jalan yang telah dibangun. Hasil penelitian menunjukkan dengan pemakaian aspal BituPlus® menghasilkan aspal yang memiliki titik lembek tinggi, kelenturan yang lebih baik serta penetrasi yang lebih optimal dibandingkan dengan penggunaan aspal biasa, serta perkerasan

jalan lebih tahan terhadap *aging* akibat pengaruh pancaran sinar ultraviolet sehingga dapat memperbaiki kinerja beton aspal lebih maksimal.

## 2.9. Bahan Tambah

### 2.9.1 Lignin

Lignin berasal dari kata "*lignum*" yang berarti kayu. Lignin merupakan salah satu komponen utama penyusun kayu, baik kayu jarum (*gymnospermae*) maupun kayu daun (*angiospermae*) di samping polisakarida dan ekstraktif (sarkanen dan ludwig, 1971). Ketiganya merupakan komponen polimer yang bergabung satu sama lain dan membentuk suatu struktur tiga dimensi yang sangat kompleks.

Lignin adalah bahan polimer dari alam terbanyak setelah selulosa, lignin berada pada dinding sel dan antar sel, yang membuat kayu menjadi keras dan mampu menahan *stress* mekanik. Belum ditemukan stuktur kimia yang pasti dari lignin (Fuadi dan Sulistya, 2008).

Lignin memiliki heterogenitas pada banyak tumbuhan yang secara botani berbeda dalam seksi, kelas, ordo, genus maupun pada jaringan sel-sel kayu yang berbeda bahkan pada lapisan dinding sel satu spesies (Anonymous, 1971). Kadar lignin rata-rata Kalindra, Balsa,

Gamal, dan Sengon menurut bagian dalam batang ditampilkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Kadar lignin rata-rata beberapa jenis kayu.

Jenis	Kadar Lignin (%)			
	Ujung	Tengah	Pangkal	Rata-rata
Kaliandra	20,35	22,00	22,53	21,63
Balsa	23,33	24,85	25,35	24,51
Gamal	21,83	25,29	25,93	24,35
Sengon	23,59	25,29	25,98	25,95

Sumber: Kasmudjo, 1982 dalam Santoso, 1995)

Lignin berada dengan polisakarida kayu, seperti selulosa dan liemilulosa yang mempunyai afinitas yang kuat terhadap molekul air (*hidrofobik*) dan berfungsi mengontrol penyerapan air oleh kayu. Lignin bahan merupakan perekat alam, suatu polimer kompleks penyusun kayu (Fengel dan wagener, 1985).

Jumlah dan sifat lignin pada kayu sangat bervariasi dan tergantung dari jenis kayu, kayu daun jarum (*softwood*) atau kayu daun lebar (*hard wood*), lingkaran tahunan kayu. Penelitian pada “Douglas-fir: menunjukkan bahwa kayu di bagian tengah batang memiliki kandungan lignin yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan bagian tepi batang. Kayu pada daerah tropis mempunyai kandungan lignin yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kayu daun dari daerah temperatur sedang sampai tinggi. Kandungan lignin kayu jarum bervariasi antara 24-33% dan kayu daun tropis 26-35%. Dalam

tanaman bukan berkayu kandungan lignin umumnya lebih kecil antara 12-17% (Supri, 2000).

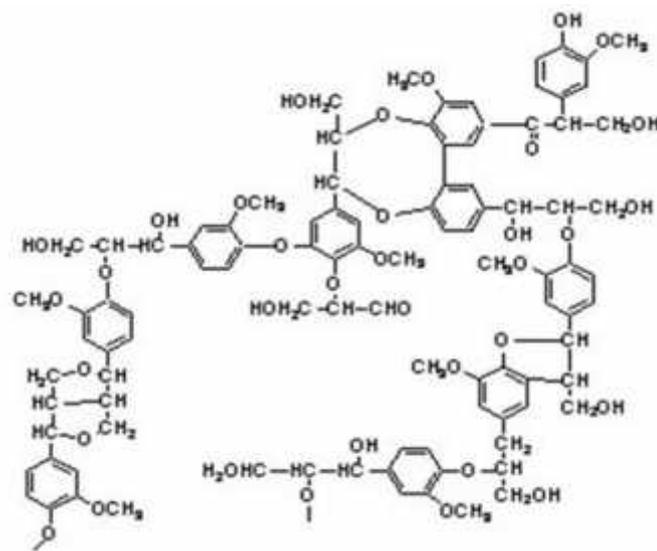
Lignin juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan lignosulfonat. Lignosulfonat merupakan salah satu *derivate* lignin yang didapatkan dengan cara sulfonasi lignin, merupakan polimer polielektrolit yang larut dalam air.

Umumnya lignosulfonat diperoleh dari cairan lindi hitam (*black liquor*) yang berasal dari buangan pabrik kertas. Lignosulfonat secara komersial banyak digunakan sebagai *additive* (zat tambahan) yang berfungsi sebagai *plasticizer* pada pembuatan semen dan beton. Lignosulfonat juga dapat digunakan sebagai surfaktan, bahan baku pembuatan vanillin, sebagai bahan pengikat pada pakan ternak, dispersant untuk pewarna, *conditioner*, *paper coating*, pupuk (Falah, 2012).

### **2.9.2 Sifat Kimia Lignin**

Karakteristik kimia lignin dapat dilakukan dengan analisis unsur dan penentuan gugus metoksil. Selanjutnya ditentukan kandungan gugus fungsional lain (misal gugus fenolat, hidroksil alifatik, dan gugus karbonil dan karboksil) yang menunjukkan perubahan-perubahan struktur lignin yang disebabkan oleh prosedur isolasi atau perlakuan kimia (Meier *et al.*, 1981 dalam Fengel dan Wegener, 1995).

Santoso (1995) menyatakan bahwa lignin mempunyai gugus metoksil sekitar 16,8%-17,4%. Jumlah metoksil dalam lignin bergantung pada sumber lignin serta proses isolasi yang digunakan. Lignin merupakan senyawa *aromatic* dengan struktur kimia yang sangat kompleks. Reaktivitas lignin lebih rendah jika dibandingkan dengan perekat fenol formaldehida dan jumlah gugus reaktifnya pun sedikit (Nimz, 1983 dalam Pizzi, 1994).



Gambar 2. Struktur Ikatan Kimia Lignin

Faktor yang mendukung pemanfaatan lignin antara lain tempat reaktif dalam struktur lignin dapat digunakan untuk beragam reaksi substitusi atau adisi, lignin memiliki kesesuaian dengan beberapa bahan dasar kimia yang penting, dan ketersediannya dalam jumlah yang cukup besar dalam lindi hitam dapat menjadi sumber polusi yang serius bila dibiarkan. Kendala pemanfaatan lignin adalah struktur kimia dan bobot molekulnya tidak homogen sehingga membutuhkan biaya lebih tinggi untuk memfraksikan dan

memodifikasinya, apabila dicuci dengan klorin dan diberi perlakuan panas atau kimia maka komponen yang rusak akan banyak terbentuk, kandungan oksigen dan sifat higroskopisnya yang tinggi serta strukturnya yang berdimensi 3 yang melibatkan ikatan C-C mengakibatkannya sulit dipisahkan dan didegradasi menjadi molekul yang bobot molekulnya rendah (Salminah, 2001).

## 2.10. Penelitian Terdahulu

Saat ini, Indonesia adalah produsen dan eksportir minyak kelapa sawit atau *Crude Palm Oil* (CPO) terbesar di dunia. Menurut data dari Kementerian Pertanian Indonesia, jumlah total luas area perkebunan sawit di Indonesia mencapai sekitar 8 juta hektar dengan total produksi CPO 32 juta ton pada tahun 2016. Produksi minyak kelapa sawit menghasilkan limbah-limbah yang memiliki potensi untuk diolah lebih lanjut menjadi produk baru.

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Pasal 69: Setiap orang dilarang melakukan perbuatan yang mengakibatkan pencemaran dan atau perusakan lingkungan hidup.

Salah satu limbah minyak kelapa sawit adalah ampas yang dihasilkan dari pengpresan CPO. Ampas berupa *cake* yang terdiri atas serat dan biji. Biji dipisahkan dari serat untuk diproses lebih lanjut menjadi minyak inti kelapa sawit (KPO), serat sisanya merupakan serat buah (*mesocarp*) kelapa sawit. Saat ini serat *mesocarp* hanya dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler

dengan mengeringkan terlebih dahulu serat dalam waktu yang cukup lama (Shahidi, 2005).

Penelitian terdahulu tentang aspal modifikasi dan pemanfaatan bahan tambahan Lignin yang pernah dilakukan yaitu:

1. Pengaruh Aditif Arang Tempurung Kelapa (ATK) Sebagai Pengganti Material Filler Terhadap Durabilitas Campuran Aspal oleh M.M. Aditya Sesunan. Tempurung kelapa merupakan bagian dalam pelindung buah kelapa dengan ketebalan berkisar antara 3–6 mm. Tempurung kelapa dikategorikan sebagai jenis kayu keras tetapi mempunyai kadar lignin yang lebih tinggi dengan kadar selulosa yang lebih rendah dan kadar air sekitar 6-9 % (dihitung berdasarkan berat kering) dan terutama tersusun dari lignin, selulosa dan hemiselulosa (Tilman,1981). Komposisi kimia dalam tempurung kelapa dapat dilihat lebih rinci pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Komponen Kimia Tempurung Kelapa

No	Komponen	Presentase
1.	Selulosa	26,60%
2.	Hemiselulosa	27,70%
3.	Lignin	29,40%
4.	Abu	0,60%
5.	Komponen ekstraktif	4,20%
6.	Uronat anhidrat	3,50%
7.	Nitrogen	0,10%
8.	Air	8,00%

Sumber : Suhardiyono, 1988 dalam pranata, 2008.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penggantian *filler* menggunakan ATK memiliki pengaruh yang baik terhadap peningkatan

nilai stabilitas campuran beraspal. Nilai rongga udara dalam campuran (VIM) juga mengalami peningkatan seiring dengan penambahan persen kadar ATK. Kadar Aspal Optimum (KAO) menunjukkan bahwa, semakin besar kadar ATK maka nilai stabilitas akan terus mengalami peningkatan, namun sampai pada titik tertentu penambahan kadar ATK akan menurunkan nilai stabilitas. Indeks Kekuatan Sisa (IKS) yang dihasilkan dengan menggunakan *filler* ATK memperlihatkan bahwa ternyata terdapat pengaruh negatif dari air terhadap durabilitas campuran beraspal.

2. Kajian Komparatif Durabilitas Campuran aspal Beton Menggunakan bahan Pengikat Yang Berbeda oleh Wayan anggi. W.R. Bahan Aspal yang digunakan antara lain sebagai berikut:
  1. Aspal Penetrasi 60/70
  2. Jaya Aspal polimer (JAP)
  3. Aspal Penetrasi 60/70 + *Trafpack-super* 5% (TPS)

Hasil Pengujian *marshall* dengan perendaman berkala menggunakan aspal penetrasi 60/70 dan *trafpack-super* 5% dilakukan pada KAO 6,3% Sedangkan Jaya Aspal Polimer pada 5,8%.

Hasil rata-rata sampel pengujian karakteristik *marshall* pada suhu standar menggunakan JAP didapatkan stabilitas hanya mencapai 1604,7Kg, *flow* 3,5 mm dan MQ 456,909 Kg/mm, sementara hasil pengujian menggunakan penggunaan TPS 5% mempunyai karakteristik *marshall* lebih tinggi jika dibandingkan dengan JAP, didapatkan nilai

stabilitas sebesar 1880,4, *flow* 3,1 mm dan MQ 614,703 Kg/mm. Hal ini menunjukkan bahwa campuran menggunakan TPS 5% memiliki kekakuan yang lebih tinggi sehingga memiliki kemungkinan lebih besar mengalami keretakan.

Pada pengujian durabilitas campuran dengan standar pengujian yaitu pada suhu rendaman 60°C selama 30 menit didapatkan nilai IKS campuran aspal penetrasi 60/70 + TPS 5% sebesar 99,85%, nilai ini diatas spesifikasi yang disyaratkan oleh Bina Marga (2010) yaitu sebesar 90%. Sementara nilai IKS JAP hanya mencapai 85,76%, nilai ini tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Bina Marga (2010).

### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat Penelitian**

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

#### **3.2 Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Agregat kasar yang digunakan berasal dari Laboratorium Inti Jalan Raya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
2. Agregat halus yang digunakan berasal dari Laboratorium Inti Jalan Raya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
3. Aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal keras penetrasi 60/70.
4. *Filler* atau material lolos saringan No.200 yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Portland Cement*.
5. Bahan pengikat alami (*natural binder*) berupa lignin.

#### **3.3 Peralatan**

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Satu Set Saringan (*Sieve*)

Alat ini digunakan untuk memisahkan agregat berdasarkan gradasi agregat.

2. Alat uji pemeriksaan agregat

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

3. Alat uji karakteristik campuran agregat aspal

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

- a. Alat tekan *Marshall* yang terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) yang dilengkapi dengan arloji pengukur *flowmeter*.
- b. Alat cetak benda uji berbentuk silinder dia meter 4 inchi (10,16 cm) dan tinggi 3 inchi (7,5 cm).
- c. *Marshall automatic compactor* yang digunakan untuk pemadatan campuran sebanyak 75 kali tumbukan tiap sisi (atas dan bawah).
- d. *Ejektor* untuk mengeluarkan benda uji setelah proses pemadatan.
- e. Bak perendam (*water bath*) yang dilengkapi dengan pengatur suhu.
- f. Alat-alat penunjang yang meliputi penggorengan pencampur, kompor pemanas, termometer, sendok pengaduk, sarung tangan anti panas, kain lap, timbangan, ember untuk merendam benda uji, jangka sorong, dan tipe-ex yang digunakan untuk menandai benda uji.

### 3.4 Tahap -Tahap Penelitian

Tahap-tahap penelitian yang akan dilakukan mulai dari awal sampai akhir seperti pada gambar alir penelitian, dijelaskan sebagai berikut :

#### 1. Pengujian bahan

##### a. Agregat kasar, Agregat halus, dan *filler*

Agregat diperlukan sebagai bahan pengisi pada campuran beraspal dengan komposisi gradasi sesuai dengan gradasi terpakai yang memenuhi spesifikasi yang ada. Untuk agregat kasar, agregat halus, dilakukan pengujian analisa saringan, berat jenis, penyerapan dan *filler* yang digunakan adalah semen.

Tabel 3.1 Standar Pemeriksaan Agregat

No	Jenis Pengujian	Standar Uji
1	Analisa saringan	SNI 03-1968-1990
2	Berat jenis (Berat jenis Bulk, Berat jenis SSD dan Berat Jenis Semu ) dan penyerapan agregat halus	SNI 03-1970-1990
3	Berat jenis (Berat jenis Bulk, Berat jenis SSD dan Berat Jenis Semu ) dan penyerapan agregat kasar	SNI 03-1969-1990
4	<i>Los Angeles Test</i>	SNI 03-2417:2008

*Sumber: Dokumen pelelangan nasional pekerjaan jasa pelaksanaan konstruksi, Spesifikasi Umum 2010 Divisi 6*

#### 2. Perencanaan Campuran

Untuk mendapatkan campuran yang ideal dan memberikan kinerja perkerasan yang optimal maka sebelum pemembuat campuran diperlukan perencanaan campuran untuk menentukan komposisi masing-masing bahan penyusun campuran agar diperoleh campuran beraspal yang memenuhi spesifikasi antara lain :

- a. Pada Penelitian ini gradasi campuran agregat yang digunakan adalah gradasi campuran AC-WC. Perencanaan campuran beraspal AC-WC ini dilakukan dengan mengikuti batas tengah dari setiap persen berat lolos saringan, sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2010.
  - b. Melakukan analisa perhitungan komposisi yang ideal dan memenuhi spesifikasi yang telah disyaratkan.
  - c. Setelah didapat komposisi masing-masing fraksi agregat, kemudian dilanjutkan dengan mengayak agregat satu set saringan *sieve analysis*.
3. Tahapan dalam perencanaan campuran beraspal sebagai berikut :
- a. Menghitung perkiraan awal kadar aspal optimum (Pb) sebagai berikut :
 
$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\% FF) + \text{Konstanta}$$
 Keterangan:
    - Pb : Kadar aspal tengah atau ideal, persen terhadap berat campuran
    - CA : Persen agregat tertahan saringan No.8 (2,36 mm)
    - FA : Persen agregat lolos saringan No.8 (2,36 mm) dan tertahan saringan No.200 (0,075 mm)
    - Filler : Persen agregat minimal 75 % lolos No.200 (0,075 mm)
    - K : Nilai Konstanta
 Nilai konstanta umumnya 0,5 sampai 1,0 untuk Laston dan 2,0 sampai 3,0 untuk Lataston, untuk jenis campuran lain gunakan nilai

- 1,0 sampai 2,5.
- b. Bulatkan perkiraan nilai  $P_b$  sampai 0,5% yang paling mendekati, Jika hasil perhitungan diperoleh 5,45 % maka dibulatkan menjadi 5,5 %.
  - c. Setelah didapat nilai kadar aspal, selanjutnya berat jenis campuran maksimum (BJ Max) dihitung dari data dari percobaan berat jenis agregat kasar dan agregat halus.
  - d. Jika semua data telah didapatkan, yang dilakukan selanjutnya adalah menghitung berat sampel, berat aspal, berat agregat dan menghitung kebutuhan agregat masing-masing sampel berdasarkan persentase tertahan.
  - e. Pembuatan benda uji pada kadar aspal perkiraan -1,-0,5, pb +0,5 +1 sebanyak 15 sampel
  - f. Melakukan uji *Marshall* untuk mendapatkan nilai karakteristik *marshall* berupa stabilitas, kelelahan (*flow*) dan MQ.
  - g. Menghitung parameter *Marshall* yang lain seperti karakteristik campuran yaitu VIM, VMA, VFA, berat volume, dan parameter lain sesuai parameter yang ada pada spesifikasi campuran.
  - h. Menggambarkan hubungan antara kadar aspal terhadap penambahan lignin terhadap parameter *Marshall*.
4. Pembuatan dan Pengujian Durabilitas Benda Uji
- a. Menimbang agregat sesuai dengan persentase agregat campuran yang telah dihitung, kemudian benda uji dibuat sebanyak tiga buah pada masing-masing variasi rendaman.

- b. Mengoven agregat minimal 4 jam sehingga di dapat berat kering dan menghitung kembali kadar aspal berdasarkan berat agregat setelah dioven.
- c. Mencampur agregat dengan KAO, dikalikan kadar lignin (5,6 x 3%, 5,6 x 6%) pada suhu optimum 155°C sebanyak 54 sampel.
- d. Sebelum dilakukan pemadatan, terlebih dahulu memanaskan cetakan yang akan digunakan dengan tujuan agar tidak terjadi penurunan suhu yang terlalu signifikan campuran pada sampel. Cetakan yang digunakan berbentuk silinder dengan tinggi standar 6,35 cm dan diameter 10,16 cm.
- e. Memasukkan campuran dalam cetakan per  $\frac{1}{3}$  dan  $\frac{1}{2}$  tinggi cetakan kemudian di padatkan menggunakan pemadat pipih yang dimaksudkan agar tidak terjadi rongga pada sampel dan melakukan pemadatan dengan alat *compactor* terhadap sampel sebanyak 2 x 75 tumbukan dengan suhu 150°C.
- f. Benda uji didiamkan selama kurang lebih 24 jam agar suhunya turun, kemudian benda uji dikeluarkan dengan *ejektor* dan diberi kode sesuai dengan jenis sampel untuk memudahkan pada saat pengujian menggunakan tipe-ex.
- g. Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel dan diukur tinggi benda uji menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,1 mm di ketiga sisi benda uji dan ditimbang beratnya untuk mendapatkan berat benda uji kering.

- h. Merendam benda uji dalam air selama 24 jam untuk mengetahui kadar penyerapan air.
- i. Timbang benda uji dalam air.
- j. Kemudian benda uji dikeringkan menggunakan kain lap sehingga didapatkan kering permukaan dan berat benda uji kering permukaan jenuh (*saturated surface dry, SSD*) kemudian ditimbang.

5. Pengujian menggunakan alat *Marshall*

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan (*flow*) dari campuran aspal yang mengacu pada SNI 06-2489-1991 dan akan dilakukan pengujian percobaan sesuai dengan kondisi cuaca di Indonesia yang mempunyai dua musim yaitu musim panas dan musim penghujan, pengujian akan disimulasikan dengan variasi suhu perendaman 45°C dan suhu tinggi 75 °C. Berikut langkah-langkah pengujian benda uji dengan alat *Marshall* :

- a. Benda uji direndam dalam bak perendaman pada suhu 45 °C, 60°C dan 75 °C  $\pm$  1°C selama 30 menit, dan 24 jam.
- b. Membersihkan bagian dalam kepala penekan dan melumasi agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian.
- c. Keluarkan benda uji dari bak perendam, letakkan benda uji dalam cincin dan memasang *flow* meter, selanjutnya letakkan kembali pada mesin penekan *marshall*. Kemudian penekan dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji, dan mengartur jarum arloji *flow* meter pada angka nol.

- d. Pembebanan dilakukan dengan kecepatan konstan 2 inch (51 mm) per menit, dibaca pada saat nilai stabilitas berhenti dan jarum mulai kembali berputar menurun, itu merupakan nilai stabilitas *Marshall*. pada saat itu pula dibaca arloji kelelahan dibaca.
- e. Setelah pengujian selesai, kepala penekan diambil, bagian atas dibuka dan benda uji dikeluarkan.

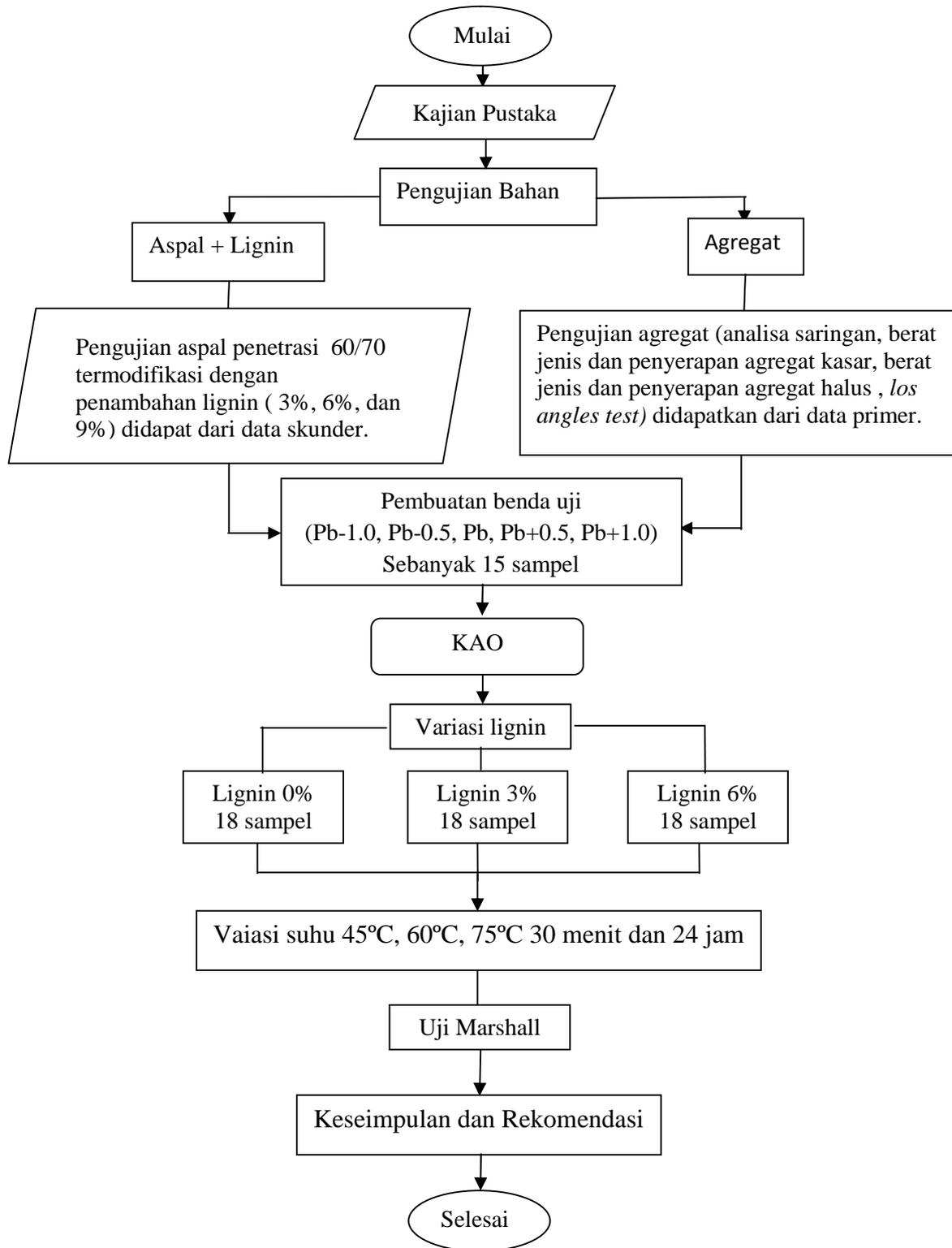
#### 6. Menghitung Parameter *Marshall*

Setelah pengujian *Marshall* selesai serta nilai stabilitas dan *flow* didapat, selanjutnya menghitung parameter *Marshall* yaitu VIM, VMA, dan parameter lainnya sesuai parameter yang ada pada spesifikasi campuran.

#### 7. Pengolahan dan Pembahasan Hasil

Dari data hasil penelitian di Laboratorium diperoleh karakteristik *marshall*, karakteristik campuran, dan nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) pada pengujian durabilitas terhadap variasi suhu akibat penambahan kadar lignin. Hasil pengolahan akan diuraikan dalam bentuk grafik hubungan antara kadar aspal dikalikan persen (%) penambahan lignin terhadap parameter *marshall* dan pengaruh kadar lignin terhadap durabilitas campuran dengan variasi suhu. Hasil pengujian selanjutnya akan dibandingkan dengan penelitian terdahulu yang menggunakan bahan aspal termodifikasi aspal penetrasi 60/70 + TPS 5% dan Jaya Aspal Polimer yang dilakukan oleh Wayan Anggi W.R. (2018).

### 3.5 Diagram Alir



Gambar 3.1. Diagram penelitian

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, penambahan kadar lignin sebesar 3% dan 6% dapat mempengaruhi karakteristik *marshall* campuran beraspal. Pada pengujian dengan variasi suhu didapatkan bahwa suhu perendaman berpengaruh cukup signifikan terhadap tingkat durabilitas campuran AC-WC menggunakan aspal termodifikasi. Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hasil pengujian *marshall* menunjukkan bahwa penambahan kadar lignin 3% telah memenuhi standar campuran beraspal pada pengujian dengan suhu standar. Sementara penambahan kadar lignin 6% ada sebagian yang tidak memenuhi parameter pengujian *marshall* seperti *flow* yang disyaratkan oleh Bina Marga (2010) yaitu sebesar 3 - 5 mm.
2. Nilai IKS rata-rata yang diperoleh dengan standar pengujian suhu 60°C aspal penetrasi 60/70 sebesar 91,96%, lignin 3% sebesar 90,09% dan lignin 6% sebesar 90,03% menunjukkan bahwa dengan penambahan kadar lignin yang sudah ditetapkan telah mencapai IKS yang disyaratkan oleh Bina Marga (2010). Pada pengujian IKS

dengan suhu percobaan sesuai dengan iklim di Indonesia yang mempunyai dua musim, yaitu musim panas dan musim penghujan yang disimulasikan dengan suhu rendaman 45°C dan 75°C. Pengujian dengan suhu 45°C didapatkan nilai IKS diatas 90% sehingga dianggap cukup tahan terhadap suhu yang telah ditentukan, sementara pada pengujian dengan suhu tertinggi yaitu 75°C, penambahan kadar lignin 6% nilai IKS hanya mencapai 89,10% dengan hasil ini dianggap tidak tahan terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh pengaruh suhu tinggi yang disimulasikan dengan suhu rendaman 75 C.

Dari hasil pengujian, jika dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu yang menggunakan aspal modifikasi JAP dan TPS 5% oleh Wayan Anggi W.R. (2018) menunjukkan bahwa campuran TPS 5% memiliki nilai IKS tertinggi yaitu sebesar 99,85% dan campuran JAP memiliki nilai IKS terkecil yang hanya mencapai 85,76%, namun secara keseluruhan kualitas penggunaan TPS relatif lebih mahal karena didapatkan melalui impor. Sementara penggunaan lignin sebagai bahan tambahan pada campuran beraspal merupakan pemanfaatan limbah dari pembuatan kertas yang didapatkan melalui proses ekstraksi cairan *black liquor*, sehingga akan mempunyai harga relatif terjangkau.

## 5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas pengalaman selama penelitian di laboraturium, maka disarankan beberapa hal yang harus diperhatikan sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan kualitas campuran aspal terbaik penulis merekomendasikan jenis aspal modifikasi penetrasi 60/70 dengan penambahan kadar lignin 3% untuk pengaplikasian dilapangan..
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan interval kadar lignin yang lebih kecil (2% dan 4%).

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggi Wayan, W.R. 2018. Kajian Komparatif Durabilitas Campuran Aspal Beton Menggunakan bahan Pengikat yang berbeda. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung. Bandarlampung.
- Falah, F., 2012. *Pemanfaatan Limbah Lignin Dari Proses Pembuatan Bioetanol Dari TKKS Sebagai Bahan Aditif Pada Mortar*. Jurnal Fakultas Teknik Program Magister Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia. Depok.
- Fei-Hung, Y., 2000. *A Study of Potential Use of Asphalt Containing Synthetic Polymers For Asphalt Paving Mixes*. USA : UMI.
- Fuadi, A.M., Sulistya, H. 2008. *Pemutihan Menggunakan Hidrogen Peroksida*. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- King, G.N., Munchy, H.W., Prudhomme, J.B. 1986. Polymer Modification : Binder's Effect on Mix Properties, Volume 55. hal 519-540. Proceeding of the Association of Asphalt Paving Technologists.
- Koninklijke.1987.The Teasting of Bituminous Material. Shell-Laboratorium
- Meier, H., L. Buchs ., A.J Buchala dan T. Homewood. 1981. Nature 289, 821-822. Dalam Fengel, D . dan Wegener. 1995. *Kayu:Kimia, Ultrastruktur dan Reaksi*. Gadjah Mada Press University. Yogyakarta
- Nimz, HH. *Lignin –Based Wood Adhesives*. In A. Pizzi. 1983. Wood Adhesives Chemistry and Technology. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Oglesby, C.H. 1996. *Teknik Jalan Raya*. Edisi Keempat. Jilid II. Erlangga. Jakarta.
- Pizzi, A. 1994. *Advanced Wood Adhesives Technology*. Marcel Dekker, Inc. New York.

- Polacco, G., Berlincioni, S. 2005. *Asphalt Modification with Different Polyethylene Based Polymer*. hal 2831. Italia. *European Polymer Journal* 41.
- Rianung, S. 2007. *Kajian Laboratorium Pengaruh Bahan Tambah Gondorukem pada Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) Terhadap Nilai Propertis Marshall dan Durabilitas*, Semarang.
- Rukmananda, R., 2018. *Kualitas Bahan Bitumen Akibat Penambahan Kadar Lignin Yang Berbeda*.  
Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Salminah, M. 2001. *Karakteristik Lignin Hasil Isolasi Larutan Sisa Pemasak Pulp Proses Semi Kimia pada Berbagai Tingkat pH*. Fakultas Kehutanan Jurusan Teknologi Hasil Hutan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Santoso, A. 1995. *Pencirian isolate Lignin dan Upaya Menjadikan Sebagai Bahan Perekat Kayu Lapis*. Ilmu Pengetahuan Kehutanan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sesunan, A. M.M. 2010. *Pengaruh Aditif Arang Tempurung Kelapa Sebagai Pengganti Material Filler Terhadap Durabilitas Campuran aspal*. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Supri, 2000. *Sintesis Dan Karakterisasi Poliuretan Dari Sistem Lignin Isolat Kayu Meranti (Shorea Spp) Dengan Polietilen Glikol (LI-PEG)*. Tesis Magister. Bandung.
- Shahidi, Fereidon. 2004. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.
- Shell Bitumen. 1990. *The Shell Bitumen Hand Book*.
- Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Divisi 6
- Sukirman, S., 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta : Granit
- Wegener, G., Fengel, D. 1985. *Kimia Ultra Struktur Reaksi*. Gadjah Mada University Press : Yogyakarta.
- \_\_\_\_\_. 2010. *Dokumen Pelelangan Nasional Pekerjaan Jasa Pelaksanaan Konstruksi, Spesifikasi Umum 2010 Divisi 6 Perkerasan Aspal*. Jakarta.
- \_\_\_\_\_. 2012. *Panduan Praktikum Pelaksanaan Perkerasan Jalan (PPJ)*. Laboratorium Inti Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bandar Lampung. 59 hlm.

\_\_\_\_\_. 2016. *Format Penulisan Karya Ilmiah Universitas Lampung*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.