

**PENGARUH PROSES PENUAAN AKIBAT RENDAMAN AIR GAMBUT
TERHADAP DURABILITAS CAMPURAN AC-WC
BERDASARKAN UJI CANTABRO**

Tesis

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Dalam Mencapai
Derajat Magister Teknik



Oleh :

Amal Risky Harahap

NPM. 163121005

Diajukan kepada :

PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU
2020

LEMBAR PENGESAHAN

TESIS

**PENGARUH PROSES PENUAAN AKIBAT RENDAMAN AIR GAMBUT
TERHADAP DURABILITAS CAMPURAN AC-WC
BERDASARKAN UJI CANTABRO**

Yang dipersiapkan dan disusun oleh

AMAL RISKY HARAHAP
NMP: 163121005

Program Studi : Teknik Sipil
Bidang Kajian Utama : Geoteknik dan Jalan Raya
Dan telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Pada tanggal : ...7.../9/2020
Dan dinyatakan **LULUS**

DEWAN PENGUJI

Ketua Penguji


Prof. Dr. Ir. H. Sugeng Wiyono, MMT, I-PU

Anggota Penguji I


Dr. Elizar, S.T., M.T.

Anggota Penguji II


Dr. Anas Puri, S.T., M.T.



Mengetahui,
Direktur
Program Pascasarjana Universitas Islam Riau


Prof. Dr. H. Yusri Munaf, S.H., M.Hum

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PROSES PENUAAN AKIBAT RENDAMAN AIR GAMBUT
TERHADAP DURABILITAS CAMPURAN AC-WC
BERDASARKAN UJI CANTABRO

Yang dipersiapkan dan disusun oleh

AMAL RISKY HARAHAP

NMP: 163121005

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal... **7 September 2020**

Pembimbing I



Prof. Dr. Ir. H. Sugeng Wiyono, MMT, I-PU Tanggal : ttd.....

Pembimbing II



Dr. Elizar, S.T., M.T.

Tanggal : ttd.....

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Magister Teknik
Tanggal: **7/9/2020**



Dr. Elizar, S.T., M.T.

**Ketua Program Magister Teknik Sipil
Universitas Islam Riau**



PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PERPUSTAKAAN

Jalan KH. Nasution No. 113 Gedung B Pascasarjana Universitas Islam Riau
Marpoyan, Pekanbaru, Riau

SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT

Nomor: 074/A-UIR/5-PSTK/PPs/2020

Perpustakaan Program Pascasarjana Universitas Islam Riau menerangkan:

Nama : Amal Risky Harahap
NPM : 163121005
Program Studi : Teknik Sipil

Telah melalui proses pemeriksaan kemiripan karya ilmiah (tesis) menggunakan aplikasi *Turnitin* pada tanggal 2 September 2020 dan dinyatakan memenuhi syarat batas maksimal tingkat kemiripan tidak melebihi 30 % (tiga puluh persen).

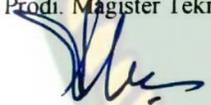
Surat keterangan ini digunakan untuk syarat ujian tesis dan pengurusan surat keterangan bebas pustaka.

Mengetahui

Pekanbaru, 2 September 2020

Ketua Prodi. Magister Teknik Sipil

Staf Perpustakaan


Dr. Elizar, S.T., M.T.


Sumardiono, STP



Lampiran:

- *Turnitin Originality Report*

Tumitin Originality Report

PENGARUH PROSES PENYUAPAN AKIBAT RENDAMAN AIR GAMBUT TERHADAP DURABILITAS CAMPURAN AC-WC BERDASARKAN UJI CANTABRO

by Amal Risky

Marahap

From Prodi Teknik Sipil (Tesis 2)

- Processed on 02-Sep-2020 17:07 +08
- ID: 1378128318
- Word Count: 30425

Similarity Index

9%

Similarity by Source

Internet Sources:

9%

Publications:

4%

Student Papers:

6%

sources:

- 1 2% match (Internet from 04-Oct-2019)
<https://www.scribd.com/presentation/380212503/PPT-seminar-Proposal>
- 2 1% match (Internet from 06-Jan-2020)
<https://www.scribd.com/document/386603551/BAB-II-pdf-pdf>
- 3 1% match (Internet from 12-Jan-2020)
<https://id.scribd.com/doc/44873126/Bab3-Material-Konstruksi-Perkerasan-Lentur>
- 4 1% match (Internet from 13-Dec-2018)
<https://ar.scribd.com/doc/47966304/MANUAL-ASPAL>
- 5 1% match (Internet from 24-Jul-2020)
<http://repository.uir.ac.id/1236/1/LATIFAH%20QUR%20E2%80%99ANI%201.pdf>
- 6 1% match (Internet from 22-Sep-2017)
https://dspace.uji.ac.id/bitstream/handle/123456789/1206/05_2%20bab%202.pdf?isAllowed=y&sequence=6
- 7 1% match (student papers from 20-Aug-2018)
Submitted to Universitas Islam Indonesia on 2018-08-20
- 8 1% match (Internet from 14-Feb-2018)
<http://www.bdigital.unal.edu.co/36707/2/37659-178276-1-PB.html>
- 9 1% match (Internet from 24-Aug-2018)
<http://truelife-msked.blogspot.com/2012/06/>
- 10 1% match (Internet from 29-Dec-2019)
<https://fr.scribd.com/doc/279136359/Laporan-Praktikum>



UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PROGRAM PASCASARJANA

Jalan Kaharuddin Nasution No. 113 Pekanbaru 28284 Riau
Telp. (+62) (761) 674717 - 7047726 Fax. (+62) (761) 674717

SURAT KEPUTUSAN DIREKTUR PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS ISLAM RIAU
NOMOR : 17/UR/KPTS/PS-MT/2018
TENTANG PENUNJUKAN PEMBIMBING PENULISAN TESIS MAHASISWA
PROGRAM MAGISTER (S2) TEKNIK SIPIL PPS UIR

DIREKTUR PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS ISLAM RIAU

1. Bahwa penulisan tesis merupakan tugas akhir dan salah satu syarat bagi mahasiswa dalam menyelesaikan studinya pada Program Magister (S2) Teknik Sipil PPS - UIR
2. Bahwa dalam upaya meningkatkan mutu penulisan dan penyelesaian tesis, perlu ditunjuk pembimbing yang akan memberikan bimbingan kepada mahasiswa tersebut
3. Bahwa nama - nama dosen yang ditetapkan sebagai pembimbing dalam Surat Keputusan ini dipandang mampu dan mempunyai kewenangan akademik dalam melakukan pembimbingan yang ditetapkan dengan Surat Keputusan Direktur Program Pascasarjana Universitas Islam Riau.
1. Undang - Undang Nomor : 20 Tahun 2003
2. Peraturan Pemerintah Nomor : 67 Tahun 1999
3. Keputusan Presiden Republik Indonesia :
- a. Nomor : 85/M/1999
- b. Nomor : 102/M/2001
- c. Nomor : 228/M/2001
4. Keputusan Menteri Pendidikan Nasional R.I. :
- a. Nomor : 232/U/2000
- b. Nomor : 234/U/2000
- c. Nomor : 176/O/2001
5. Surat Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi Depdiknas R.I. :
- a. Nomor : 2283/D.T/2003 Jo. Nomor : 625/D.T/2007
- b. Nomor : 681/D.T/2004 Jo. Nomor : 624/D.T/2007
- c. Nomor : 156/D.T/2007
- d. Nomor : 2/Dkt/Kep/1991
- e. Nomor : 490/D.T/2007
- f. Nomor : 4039/D.T/2007
6. Surat Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi (BAN-PT) Nomor : 021/BAN-PT/AK-WIS/21/2009
7. Statuta Universitas Islam Riau Bab IX Pasal 54, 55, 56, 57
8. SK Dewan Pimpinan YLPI Daerah Riau
- a. Nomor : 007/Kep.D.YLPI/1993
- b. Nomor : 135/Kep.A.YLPI-VII/2005
9. SK Rektor Universitas Islam Riau Nomor : 117/UR/Kots/2012

MEMUTUSKAN

1. Menunjuk
- a. Nama : Prof. Dr. Ir. H. Sugeng Wiyono, MMT sebagai Pembimbing I
- b. Nama : Dr. Elizar, ST, MT sebagai Pembimbing II

Untuk Penulisan Tesis Mahasiswa :

Nama : **AMAL RISKY HARAHAP**

N P M : **163121005**

Program Studi : **Teknik Sipil**

Judul Proposal Tesis : **PENGARUH PROSES PENUAAN DAN RENDAMAN AIR GAMBUT TERHADAP DURABILITAS CAMPURAN AC-WC BERDASARKAN UJI CANTABRO**

2. Tugas - tugas pembimbing adalah memberikan bimbingan kepada mahasiswa Program Magister (S2) Teknik Sipil dalam penulisan tesis.
3. Dalam pelaksanaan bimbingan supaya diperhatikan usul dan saran dari forum seminar proposal dan ketentuan penulisan tesis sesuai dengan Buku Pedoman Program Magister (S2) Teknik Sipil.
4. Kepada yang bersangkutan diberikan honorarium, sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Riau.
5. Keputusan ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan dengan ketentuan bila terdapat kekeliruan segera ditinjau kembali.
- KUTIPAN** : Disampaikan kepada yang bersangkutan untuk dapat diketahui dan diindahkan.

DITETAPKAN DI : PEKANBARU
PADA TANGGAL : 25 Mei 2018
Direktur,

Dr. Ir. Saiful Bahri, M.Eng.
NPK: 921102199

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.



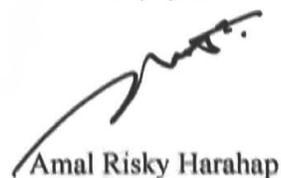
KATA PENGANTAR

Segala puji hanya milik Allah SWT yang dengan segala nikmatnya segala kebaikan menjadi sempurna, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“Pengaruh Proses Penuaan Akibat Rendaman Air Gambut Terhadap Durabilitas Campuran AC-WC Berdasarkan Uji Cantabro”**. Penulisan tesis ini diharapkan dapat menambah ilmu pengetahuan dan sebagai persyaratan kurikulum akademis untuk memperoleh gelar Magister Teknik Sipil pada Program Pascasarjana Universitas Islam Riau.

Provinsi Riau memiliki lahan gambut 3/4 dari luas wilayah Riau, dimana panjang perkerasan lentur 1.482,32 km sehingga banyak di jumpai perkerasan lentur pada tanah gambut. Genangan air/gambut pada permukaan perkerasan lentur mempercepat disintegrasi dan menimbulkan kerusakan. Air dan udara dapat mengakibatkan terjadinya percepatan proses penuaan (*aging*) pada perkerasan lentur atau beton aspal. Penuaan aspal merupakan kondisi aspal mengalami penurunan mutu, kualitas, kekuatan sebelum waktu perbaikan atau masa layanan jalan habis. Berdasarkan latar belakang tersebut pada penelitian ini penulis ingin mengetahui pengaruh proses penuaan pada rendaman air gambut, air mineral, dan air hujan terhadap durabilitas campuran AC-WC penetrasi 60/70 berdasarkan uji Cantabro dimana air mineral dan air hujan sebagai faktor pembanding serta unsur penyebab terjadinya proses penuaan.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tesis ini masih banyak terdapat kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kebaikan dan kesempurnaan dalam pembuatan tesis ini. Sehingga tesis ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, terutama kalangan teknik sipil dan pelaku jasa konstruksi.

Pekanbaru, 7 / 9 / 2020



Amal Risky Harahap

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya sehingga Tesis ini dengan judul **“Pengaruh Proses Penuaan Akibat Rendaman Air Gambut Terhadap Durabilitas Campuran AC-WC Berdasarkan Uji Cantabro”** dapat diselesaikan. Penulisan Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik Sipil pada Program Pascasarjana Universitas Islam Riau.

Atas segala bimbingan dan bantuan yang telah diberikan, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. Syafrinaldi, SH., MCL. selaku Rektor Universitas Islam Riau Pekanbaru.
2. Bapak Prof. Dr. H. Yusri Munaf, S.H., M.Hum selaku Direktur Pascasarjana Universitas Islam Riau – Pekanbaru.
3. Ibu Dr. Elizar, S.T., M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Islam Riau – Pekanbaru dan selaku Pembimbing II dalam penulisan Tesis.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Sugeng Wiyono, MMT, I-PU selaku Guru Besar Teknik Sipil Universitas Islam Riau – Pekanbaru dan selaku Pembimbing I dalam penulisan Tesis.
5. Bapak Dr. Anas Puri, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan II Teknik Sipil Universitas Islam Riau – Pekanbaru dan selaku Penelaah penulisan Tesis.
6. Bapak Tunggal Harahap dan Ibu Romida Siregar selaku Orang Tua yang mendo'akan saya dan yang terbaik.
7. Teman, Kerabat, dan Saudara Kandung yang turut membantu dalam penyelesaian Tesis.
8. Seluruh Staf, Karyawan dan Dosen Universitas Islam Riau – Pekanbaru.

Pekanbaru, 7/9/2020



Amal Risky Harahap

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT	iv
SURAT KEPUTUSAN PENUNJUKAN PEMBIMBING.....	vi
PERNYATAAN KEASLIAN.....	vii
KATA PENGANTAR	viii
UCAPAN TERIMAKASIH.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	xvi
ABSTRAK.....	xix
ABSTRACT.....	xx
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Keaslian Penelitian	11
BAB III	12
LANDASAN TEORI.....	12
3.1 Beton Aspal (<i>Asphalt Cement</i>).....	12
3.2 Klasifikasi Campuran Beton Aspal	14

3.3	Karakteristik Campuran Beton Aspal.....	15
3.4	Material Campuran Beton Aspal.....	19
3.4.1	Aspal	19
3.4.2	Agregat.....	30
3.4.3	Filler.....	36
3.5	Durabilitas Beton Aspal	37
3.6	Pengaruh Air Terhadap Perkerasan Jalan.....	40
3.7	Unsur dan Reaksi Kimia.....	41
3.8	Unsur Asam	43
3.9	Unsur Basah	44
3.10	Derajat Keasaman (pH)	45
3.11	Klasifikasi dan Karakteristik Gambut	45
3.12	Penuaan (<i>Aging</i>) Campuran Aspal	50
3.13	Uji Marshall.....	53
3.14	Persyaratan Material Campuran Beton Aspal	54
3.14.1	Persyaratan Aspal.....	55
3.14.2	Persyaratan Agregat	58
3.15	Pengujian Marshall.....	63
3.15.1.	Pengujian Stabilitas dan Kelelehan (<i>flow</i>).....	64
3.15.2.	Pengujian Volumetrik.....	65
3.16	Pengujian Durabilitas	71
3.17	Pengujian Penuaan Aspal (<i>Aging</i>).....	73
3.18	Pengujian Cantabro	74
BAB IV	76
METODE PENELITIAN	76
4.1	Umum	76
4.2	Bahan Penelitian	77
4.3	Peralatan Penelitian	77
4.4	Tahapan Penelitian	80
4.5	Hipotesis.....	89
BAB V	90
HASIL DAN PEMBAHASAN	90

5.1	Umum.....	90
5.2	Hasil Uji Gradasi Agregat.....	90
5.3	Hasil Uji Berat Jenis.....	92
5.4	Penetapan Kadar Aspal Rencana.....	94
5.5	Pengujian Marshall Untuk Menentukan KAO.....	96
5.6	Penetapan Nilai KAO berdasarkan <i>Narrow Range</i>	106
5.7	Hasil Uji Unsur Kimia Air.....	107
5.8	Hasil Uji Cantabro.....	108
5.9	Hasil Pengujian Marshall Pada Benda Uji Cantabro.....	119
5.10	Hasil Durabilitas Campuran AC-WC Benda Uji Cantabro.....	122
BAB VI.....		130
KESIMPULAN.....		130
6.1	Kesimpulan.....	130
6.2	Saran.....	132
DAFTAR PUSTAKA.....		133
LAMPIRAN.....		137

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Persyaratan Aspal Keras (60/70) (Asiyanto, 2010)	22
Tabel 3.2 Karakteristik Fraksi SARA (Swiertz, 2010)	25
Tabel 3.3 Sifat Kekakuan Aspal Dipengaruhi Lama Pembebanan dan Suhu (Totomiharjo, 1995)	28
Tabel 3.4 Klasifikasi Aspal Berdasarkan Nilai PI (Totomiharjo, 1995).....	29
Tabel 3.5 Faktor Mempengaruhi Durabilitas Pada Campuran Aspal (WISCONSIN DOT, 2016)	39
Tabel 3.6 Tipologi Lahan Pasang Surut Berdasarkan Jenis dan Sifat Fisika Kimia Tanah (Widjaya Adhi, 1995).....	46
Tabel 3.7 Karakteristik Fisik Ekosistem Rawa (Widjaya Adhi, 1995).....	47
Tabel 3.8 Karakteristik Kimia Gambut Kalimantan Tengah dan Sumatera Selatan (Barchia, 2012).....	49
Tabel 3.9 Ketentuan-Ketentuan untuk Aspal Keras (Bina Marga, 2010)	57
Tabel 3.10 Ketentuan Untuk Agregat Halus (Bina Marga, 2010)	59
Tabel 3.11 Ketentuan Untuk Agregat Kasar (Bina Marga, 2010)	60
Tabel 3.12 Ukuran Nominal Agregat Kasar Penampung Dingin untuk Campuran Aspal (Bina Marga, 2010).....	61
Tabel 3.13 Gradasi Agregat Gabungan Campuran Aspal (Bina Marga, 2010)	62
Tabel 4.1 Jumlah Benda Uji (Hasil Analisis, 2020).....	82
Tabel 5.1 Hasil Analisis Pengujian Gradasi Agregat (Hasil Analisis, 2020).....	91
Tabel 5.2 Hasil Analisis Berat Jenis Agregat Kasar (Hasil Analisis, 2020)	93
Tabel 5.3 Kebutuhan Aspal Terhadap Agregat (Hasil Analisis, 2020).....	94
Tabel 5.4 Hasil Uji Marshall Benda Uji Rencana (P_b) (Hasil Analisis, 2020)	96
Tabel 5.5 Penetapan Kadar Aspal Optimum (Hasil Analisis, 2020).....	106
Tabel 5.6 Hasil Uji Unsur Kimia Air (Hasil Analisis, 2020).....	107
Tabel 5.7 Nilai Durabilitas Campuran AC-WC Benda Uji Cantabro Rendaman Air Gambut (Hasil Analisis, 2020).....	125
Tabel 5.8 Nilai Durabilitas Campuran AC-WC Benda Uji Cantabro Rendaman Air Hujan (Hasil Analisis, 2020).....	126
Tabel 5.9 Nilai Durabilitas Campuran AC-WC Benda Uji Cantabro Rendaman Air Mineral (Hasil Analisis, 2020).....	127

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1 Komposisi Aspal (Sukirman, 2016).....	24
Gambar 3.2 Ilustrasi Persamaan Reaksi Kimia Oksidasi <i>Asphaltenes</i> (Llanos et al, 2018)	42
Gambar 4.1 Bagan Aliran Penelitian (Hasil Analisis, 2020)	88
Gambar 5.1 Grafik Gradasi Agregat AC-WC (Hasil Analisis, 2020).....	91
Gambar 5.2 Grafik Kebutuhan Aspal Terhadap Agregat (Hasil Analisis, 2020) .	95
Gambar 5.3 Grafik Kepadatan (<i>Density</i>) (Hasil Analisis, 2020)	98
Gambar 5.4 Grafik <i>Void Filled With Asphalt</i> (VFWA) (Hasil Analisis, 2020)....	99
Gambar 5.5 Grafik <i>Void in the Mix</i> (VITM) (Hasil Analisis, 2020).....	100
Gambar 5.6 Grafik <i>Void in Mineral Aggregate</i> (VMA) (Hasil Analisis, 2020) .	101
Gambar 5.7 Grafik Stabilitas (<i>Stability</i>) (Hasil Analisis, 2020)	103
Gambar 5.8 Grafik Kelelehan (<i>Flow</i>) (Hasil Analisis, 2020)	104
Gambar 5.9 Grafik <i>Marshall Quotient</i> (MQ) (Hasil Analisis, 2020)	105
Gambar 5.10 Grafik Cantabro Rendaman Air Gambut (Hasil Analisis, 2020) ..	109
Gambar 5.11 Grafik Cantabro Rendaman Air Hujan (Hasil Analisis, 2020)	110
Gambar 5.12 Grafik Cantabro Rendaman Air Mineral (Hasil Analisis, 2020) ..	111
Gambar 5.13 Grafik Cantabro Rendaman Air Gambut, Air Hujan dan Air Mineral (Hasil Analisis, 2020)	112
Gambar 5.14 Grafik Hasil Perbandingan Berat Awal Benda uji Terhadap Berat Benda Uji LTOA (Hasil Analisis, 2020).....	113
Gambar 5.15 Ilustrasi Reaksi Kimia Oksidasi <i>Asphaltenes</i> (Llanos et al, 2018)	114
Gambar 5.17 Grafik Stabilitas Benda Uji LTOA Terhadap Durasi Rendaman (Hasil Analisis, 2020)	119
Gambar 5.18 Grafik MQ Benda Uji LTOA Terhadap Durasi Rendaman (Hasil Analisis, 2020)	121
Gambar 5.19 Grafik IRS Benda Uji LTOA Terhadap Durasi Rendaman (Hasil Analisis, 2020)	123
Gambar 5.20 Grafik Persentase Indeks Durabilitas Campuran AC-WC Benda Uji Cantabro (Hasil Analisis, 2020).....	128

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A <i>Cantabro Loss Test</i>	137
Lampiran B Analisa Saringan.....	183
Lampiran C Berat Jenis.....	187
Lampiran D Kadar Aspal Optimum.....	189
Lampiran E Unsur Kimia Air.....	190
Lampiran F Dokumentasi.....	194



DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

<i>A</i>	= Berat Awal Dari Spesimen Uji
<i>a</i>	= Nilai Penurunan Kekuatan Pada Indeks Durabilitas Kedua
<i>AC – WC</i>	= <i>Asphalt Concrete Wearing Course</i>
<i>ASTM</i>	= <i>American Society for Testing and Material</i>
<i>B</i>	= Berat Akhir Dari Spesimen Uji
<i>C</i>	= Karbon
<i>Ca</i>	= Agregat Kasar Tertahan Saringan No.8
<i>CL</i>	= <i>Cantabro Loss</i>
<i>FA</i>	= Agregat Halus Lolos Saringan No.8
<i>Fe</i>	= Besi
<i>FF</i>	= Agregat Halus Lolos Saringan No.200
<i>FS</i>	= Agregat Pasir
<i>Gb</i>	= Berat Jenis Aspal
<i>Gmb</i>	= Berat Volume Benda Uji
<i>Gmm</i>	= Berat Jenis Maksimum Campuran Teoritis Setelah Pematatan
<i>Gsa</i>	= Berat Jenis Semu Total Agregat
<i>Gsb</i>	= Berat Jenis Curah Total Agregat
<i>Gse</i>	= Berat Jenis Efektif Agregat
<i>G1, G2, G3</i>	= Berat Jenis Curah Masing-Masing Agregat
<i>H</i>	= Hidrogen
<i>IDK</i>	= Indeks Durabilitas Kedua
<i>IDP</i>	= Indeks Durabilitas Pertama
<i>IKS</i>	= Indeks Kekuatan Sisa
<i>IRS</i>	= <i>Indek Retained Strength</i>
<i>K</i>	= Nilai Konstanta Sekitar 0,5 – 1,0 untuk laston
<i>KA0</i>	= Kadar Aspal Optimum
<i>LTOA</i>	= <i>Long Term Oven Aging</i>
<i>LL</i>	= Gradasi Batas Bawah
<i>m</i>	= Nilai Pembacaan Arloji Stabilitas

<i>MA</i>	= Agregat Sedang
<i>MF</i>	= Kelelahan Marshall
<i>MQ</i>	= <i>Marshall Quotient</i>
<i>MR</i>	= Gradasi Nilai Tengah
<i>MS</i>	= Stabilitas Marshall
<i>Msi</i>	= Nilai Stabilitas Marshall Setelah Perendaman 24 Jam
<i>MSs</i>	= Nilai Stabilitas Marshall Standar Pada Rendaman 30 Menit
<i>N</i>	= Nitrogen
<i>Na</i>	= Natrium
<i>n</i>	= m x Kalibrasi <i>Proving Ring</i> (kg)
<i>O</i>	= Oksigen
<i>o</i>	= Nilai Stabilitas
<i>Pb</i>	= Rancangan Kadar Aspal Optimum
<i>Pba</i>	= Penyerapan Aspal Dalam Persen Berat Total Agregat
<i>Pbe</i>	= Kadar Aspal Efektif, Persen Terhadap Berat Total Campuran
<i>pH</i>	= Derajat Keasaman
<i>PI / IP</i>	= <i>Penetrasi Index</i>
<i>Pmm</i>	= Persentase Berat Total Campuran
<i>Ps</i>	= Kadar Agregat, Persentase Berat Total Campuran
<i>P1, P2, P3</i>	= Persentase Masing – Masing Agregat
<i>R</i>	= Nilai Absolut Ekuivalen Kehilangan Kekuatan Pada IDP
<i>r</i>	= Nilai Pernurunan Kekuatan Pada Indeks Durabilitas Pertama
<i>S</i>	= Sulfur
<i>Sa</i>	= Persen Kekuatan Tersisa Dari Indeks Durabilitas Kedua
<i>SHRP</i>	= <i>Strategic Highway Research Program</i>
<i>Si</i>	= Persen Kekuatan Tersisa Pada Waktu t_i
<i>Si+1</i>	= Persen Kekuatan Tersisa Pada Waktu t_{i+1}
<i>SNI</i>	= Standar Nasional Indonesia
<i>So</i>	= Nilai Absolut Dari Kekuatan Awal
<i>STOA</i>	= <i>Short Term Oven Aging</i>
<i>TFOT</i>	= <i>Thin Film Oven Test</i>

t_i, t_{i+1}	= Waktu Perendaman
UL	= Gradasi Batas Atas
$VFWA$	= <i>Voids Filled with Asphalt</i>
$VITM$	= <i>Void in the Mix</i>
VMA	= <i>Void in Mineral Agregat</i>
Wmp	= Berat Kering Benda Uji Sebelum Direndam Air
$Wmssd$	= Berat Benda Uji Dalam Keadaan Jenuh Air
Wmw	= Berat Benda Uji Dalam Air
γ_w	= Berat Volume Air



PENGARUH PROSES PENUAAN AKIBAT RENDAMAN AIR GAMBUT TERHADAP DURABILITAS CAMPURAN AC-WC BERDASARKAN UJI CANTABRO

ABSTRAK

Genangan air seperti air gambut pada permukaan perkerasan lentur mempercepat disintegrasi dan menimbulkan kerusakan. Air dan udara dapat mengakibatkan terjadinya percepatan proses penuaan pada perkerasan lentur. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh proses penuaan akibat rendaman air gambut, air mineral, dan air hujan terhadap durabilitas campuran AC-WC penetrasi 60/70 berdasarkan uji *Cantabro* serta unsur penyebab terjadinya proses penuaan.

Metode penelitian adalah pengujian di laboratorium dengan tahapan penelitian dimulai dari perancangan campuran beton aspal, menentukan nilai kadar aspal optimum, pengujian *Long Term Oven Aging* (LTOA) beton aspal di oven selama 5 hari pada suhu 85°C, uji unsur kimia air gambut, air hujan dan air mineral. Rendam beton aspal dengan air gambut, air hujan, dan air mineral selama 0, 1, 2, 4, dan 7 hari. Kemudian pengujian *Cantabro Loss* menggunakan mesin *Los Angeles* sebanyak 300 kali putaran dan pengujian Marshall terhadap benda uji *Cantabro* untuk menentukan nilai durabilitas.

Penuaan tertinggi durasi rendaman 7 hari dengan nilai CL rendaman air gambut sebesar 23,6%, air hujan 20,1%, dan air mineral 17,7%. Nilai stabilitas terendah rendaman air gambut sebesar 1805 kg, air hujan 1852 kg, dan air mineral 1922 kg. Nilai IDP rendaman air gambut sebesar 37%, air hujan 32%, dan air mineral 28%. Nilai IDK rendaman air gambut sebesar 34%, air hujan 30%, dan air mineral 25%. Unsur reaksi kimia penyebab penuaan jangka panjang (LTOA) yaitu reaksi oksidasi *asphaltenes* karena bertambahnya unsur oksigen yang menghilangkan nitrogen (N) dan rantai alkil (R). Unsur reaksi kimia penyebab penuaan akibat air gambut yaitu zat organik mempengaruhi nilai pH tergantung banyaknya senyawa lignin. Lignin menghasilkan ion H yang dapat mempercepat terjadinya penuaan. Nilai pH air gambut sebesar 3, air hujan 5,3, dan air mineral 7. Nilai Na air gambut sebesar 78,81 mg/l, air hujan 0,284 mg/l, dan air mineral 0,568 mg/l. Nilai Fe air gambut sebesar 0,47 mg/l, air hujan 0,0054 mg/l, dan air mineral < 0,0040 mg/l. Nilai zat organik air gambut sebesar 148,52 mg/l, air hujan 1,75 mg/l, dan air mineral < 0,1093 mg/l. Suhu dan waktu perendaman dapat dibuat secara bervariasi untuk mendapatkan detail pengaruh penuaan.

Kata Kunci: *Aging*, Durabilitas, AC-WC, Uji *Cantabro*, Uji Marshall, Unsur Kimia Air Gambut.

THE EFFECT OF THE AGING PROCESS DUE TO PEAT WATER IMMERSION ON THE DURABILITY OF THE AC-WC MIXTURE BASED ON THE CANTABRO TEST

ABSTRACT

The Puddle of water as peat water on the flexible surface accelerates disintegration and causes damage. Water and air can accelerate the aging process in flexural hardening. The purpose of this study is to determine the effect of the aging process due to immersion in peat water, mineral water, and rainwater on the durability of the AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course) mixture penetration of 60/70 based on the Cantabro test and the factors causing the aging process.

The research method is laboratory testing with research stages started from the design of the asphalt concrete mixture, determining the value of the optimum asphalt content, testing the Long term oven aging (LTOA) asphalt concrete in the oven for 5 days at 85°C, testing the chemical elements of peat water, rainwater, and mineral water. Soak the asphalt concrete with peat water, rainwater, and mineral water for 0, 1, 2, 4, and 7 days. Then the Cantabro Loss test used a Los Angeles machine for 300 turns and Marshall test against the Cantabro specimen to determine the durability value.

The highest aging duration of immersion is 7 days with CL (Cantabro Loss) value of 23.6% peat water immersion, 20.1% rainwater, and 17.7% mineral water. The lowest stability value of peat water immersion is 1805 kg, mineral water 1922 kg. The First Durability Index (FDI) value of peat water immersion was 37%, rainwater 32%, and mineral water 28%. The Second Durability (SDI) value of peat water immersion is 34%, rainwater 30% and mineral water 25%. The element of chemical reaction that causes long-term aging (LTOA) is the asphaltenes oxidation reaction due to the increase in the element of oxygen which removes nitrogen (N) and Alkyl (R) chains. The chemical reaction elements that cause aging due to peat water, namely organic substances affect the pH value depending on the number of lignin compounds. Lignin produces H ions which can accelerate aging. The pH value of peat water is 3, rainwater is 5.3, and mineral water is 7. The Na value of peat water is 78.81 mg/l, rainwater is 0.284 mg/l, and mineral water is 0.568 mg/l. The Fe value of peat water is 0.47 mg/l, rainwater is 0.0054 mg/l, and mineral water is <0.0040 mg/l. the value of organic matter for peat water is 148.52 mg/l, rainwater is 1.75 mg/l, and mineral water is <0.1093 mg/l. temperature and immersion time can be varied to obtain details of the effects of aging.

Keywords: *Aging, Durability, Asphalt Concrete-Wearing Course, Cantabro Test, Marshall Test, Chemical elements of peat water.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pembangunan infrastruktur jalan raya di suatu daerah tidak terlepas dari unsur geografis, iklim, dan topografi sebagai bahan pertimbangan dalam membangun jalan raya. Menurut Wild Water Indonesia Region Riau (2017) daerah Provinsi Riau memiliki lahan gambut sebesar 4,044 juta hektar dengan persentase 56,1% dari luas lahan gambut di Pulau Sumatra, hampir 3/4 dari luas wilayah Riau terdiri atas hutan rawa gambut. Bina Marga (2015) panjang jalan Provinsi Riau 3.033,32 km dengan jenis perkerasan lentur 1.482,32 km. Perkerasan lentur merupakan perkerasan menggunakan aspal sebagai bahan pengikat, struktur lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.

Perkerasan lentur lebih cocok digunakan pada tanah lunak sehingga banyak di jumpai perkerasan lentur pada tanah gambut. Genangan air/gambut pada permukaan perkerasan lentur mempercepat disintegrasi dan menimbulkan kerusakan (Wiyono, 2009). Air berpotensi mempercepat kerusakan struktur perkerasan jalan, permukaan perkerasan digenangi air pada durasi lama dan diikuti beban lalu lintas berulang mempengaruhi sifat durabilitas perkerasan lentur. Pada cuaca panas aspal mengalami proses pemuaiian, kehilangan kekesatan permukaan dan menimbulkan rongga pori/retak halus. Genangan air pada permukaan jalan akan menginfiltrasi ke rongga pori struktur perkerasan, menyebabkan permukaan jalan mengalami pengelupasan (*delamination*) dan kerusakan selanjutnya

permukaan perkerasan menjadi berlubang (*potholes*). Air yang tergenang pada lubang perkerasan akan meresap ke lapisan tanah dasar sehingga daya dukung tanah lemah. Perkerasan lentur diharapkan dapat kedap air dan udara (*impermeabilitas*). Air dan udara dapat mengakibatkan terjadinya percepatan proses penuaan (*aging*) pada campuran beton aspal dan pengelupasan film/selimut aspal dari permukaan agregat. Mekanisme proses penuaan beton aspal dapat terjadi secara alami tanpa terkontaminasi air, disebabkan udara bereaksi dengan unsur hidrokarbon dalam komponen molekul-molekul aspal. Unsur kimia udara terdiri dari nitrogen (N_2) dan oksigen (O_2) akan menghasilkan sifat reaksi kimia terhadap aspal, aspal perlahan-lahan akan mengalami penggumpalan antar molekul akibat reaksi dari udara disebabkan ikatan hidrogen meningkat. sebaliknya jika aspal terpapar pada suhu udara panas yang tinggi maka aspal akan mengalami pembakaran. Reaksi kimia ini disebut Oksidasi, Oksidasi dapat mempengaruhi sifat dari adhesi dan kohesi pada campuran beton aspal mengakibatkan durabilitas menurun atau mengalami penuaan.

Proses penuaan oksidasi secara progresif disebut penuaan jangka panjang (*Long Term Oven Aging (LTOA)*) dengan metode pengujian Cantabro yaitu menggunakan mesin *Los Angeles Abrasion* tanpa bola-bola baja sebanyak 300 kali putaran untuk memberikan gaya impact atau abrasi pada campuran beton aspal yang telah mengalami penuaan. Indikasi bahwa air dapat mempercepat proses penuaan maka digunakan air gambut untuk direndam pada benda uji LTOA serta air hujan dan air mineral sebagai variabel pembanding. Berdasarkan permasalahan diatas maka perlu dilakukan penelitian Pengaruh Proses Penuaan Akibat Rendaman Air Gambut Terhadap Durabilitas Campuran AC-WC Berdasarkan Uji Cantabro.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat di rumuskan masalahnya sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh proses penuaan akibat rendaman air gambut, air mineral, dan air hujan terhadap durabilitas campuran AC-WC penetrasi 60/70 berdasarkan Uji Cantabro, dan
2. Apakah unsur penyebab terjadinya proses penuaan akibat rendaman air gambut, air mineral, dan air hujan terhadap durabilitas campuran AC-WC penetrasi 60/70 berdasarkan Uji Cantabro.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian tesis ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh proses penuaan akibat rendaman air gambut, air mineral, dan air hujan terhadap durabilitas campuran AC-WC penetrasi 60/70 berdasarkan Uji Cantabro, dan
2. Untuk mengetahui unsur penyebab terjadinya proses penuaan akibat rendaman air gambut, air mineral, dan air hujan terhadap durabilitas campuran AC-WC penetrasi 60/70 berdasarkan Uji Cantabro.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan terhadap pihak-pihak yang berkepentingan dalam bidang Teknik Sipil atau instansi-instansi pemerintahan maupun swasta yang berkaitan dengan penelitian ini dan dapat memberikan solusi atau pencegahan kerusakan jalan (*flexible pavement*) khususnya

di daerah berlahan gambut sebagaimana dengan judul penelitian ini yaitu Pengaruh Proses Penuaan Pada Rendaman Air Gambut Terhadap Durabilitas Campuran AC-WC Berdasarkan Uji Cantabro.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan Penelitian dimaksudkan agar proses penelitian tidak meluas, oleh karena itu peneliti memberikan batasan penelitian antara lain sebagai berikut ini.

1. Spesifikasi dalam perencanaan pembuatan AC-WC digunakan Spesifikasi Umum Tahun 2010 Revisi III dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia,
2. Air rendaman digunakan air gambut, air hujan, dan air mineral. Penelitian fokus pada air gambut untuk air hujan dan air mineral sebagai variabel pembandingan,
3. Benda uji campuran aspal dibuat pada kondisi ruangan (Laboratorium Universitas Islam Riau),
4. Pengujian benda uji dilakukan pada kondisi *Long Term Oven Aging* (LTOA), dan
5. Pengujian *Cantabro Loss* untuk mengukur durabilitas campuran aspal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka terhadap penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan dimaksudkan untuk memperoleh informasi terkait latar belakang penelitian, pokok permasalahan, metode penelitian, serta hasil dari penelitian terdahulu. Berikut ini beberapa hasil penelitian terdahulu yang diperoleh dari berbagai sumber seperti Tesis, Skripsi dan Jurnal karya ilmiah yang dipublikasikan.

2.1 Penelitian Terdahulu

Tahir dan Setiawan (2009) telah melakukan penelitian “Kinerja Durabilitas Campuran Beton Aspal Ditinjau Dari Faktor Variasi Suhu dan Lama Perendaman”. Tujuan penelitian untuk mengetahui kinerja durabilitas campuran beton aspal dengan melakukan modifikasi rendaman Marshall dan variasi suhu pemadatan. Metode yang digunakan modifikasi rendaman Marshall menjadi 1, 2, 4, 6, dan 8 hari dengan variasi suhu 90°C, 100°C, 120°C, dan 130°C. Indikator digunakan Indeks Kekuatan Sisa (IKS), Indeks Penurunan Stabilitas yaitu Indeks Durabilitas Pertama (IDP) dan Indeks Durabilitas Kedua (IDK). Hasil penelitian durabilitas tertinggi dicapai pada suhu pemadatan 120°C dengan lama rendaman satu hari. Nilai IKS menurun dengan meningkatnya durasi rendaman. Nilai IDP umumnya mengalami kehilangan kekuatan, kecuali pada rendaman 4 hari mengalami peningkatan kekuatan. Indeks penurunan stabilitas tertinggi terjadi pada suhu pemadatan 120°C. Nilai IDK mengalami kehilangan kekuatan kecuali pada

rendaman 4 hari justru terjadi penambahan kekuatan sebesar 3,4% atau naik sekitar 56,57 kg.

Sarjono (2011) telah melakukan penelitian “Prediksi Penyebab Kerusakan Dini Perkerasan Aspal/Lentur Pada Ruas Jalan Dayun I – Dayun II di Kabupaten Siak”. Tujuan penelitian untuk mengetahui kategori kerusakan, memprediksi kerusakan dan penyebab kerusakan perkerasan aspal/lentur pada ruas jalan Dayun I – Dayun II. Metode yang digunakan melakukan pengamatan, pengumpulan data pelaksanaan, perencanaan dan pengujian di laboratorium terhadap faktor penyebab terjadinya kerusakan awal dan dilakukan peninjauan terhadap penelitian terdahulu. Hasil penelitian bahwa faktor lingkungan diprediksi penyebab utama kerusakan, rembesan air diatas lapis kedap (geotextile) mengakibatkan air berkumpul dibawah permukaan perkerasan sehingga menimbulkan pelapukan (*aging*) pada perkerasan. Hasil laboratorium menunjukkan derajat rembesan air tanah sebesar 10^{-4} s/d 10^{-6} .

Tjemma (2017) telah melakukan penelitian “Pengaruh Proses Penuaan dan Rendaman Air Banjir Terhadap Durabilitas Campuran AC-WC dengan Bahan Perekat Aspal Penetrasi 60/70 Berdasarkan Uji Cantabro”. Tujuan penelitian untuk mengetahui pengaruh proses penuaan terhadap durabilitas campuran beton *asphalt concrete wearing course* (AC-WC) penetrasi 60/70 dan pengaruh campuran beton *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) penetrasi 60/70 akibat perendaman dengan air selokan mataram dengan jenis perendaman menerus 0,1,2,4,7 hari pada suhu ruangan terhadap durabilitas campuran dengan gradasi yang berbeda. Metode yang digunakan pengujian Cantabro dengan menggunakan gradasi batas atas (UL), nilai tengah (MR), dan batas bawah (LL) pada proses penuaan (*aging*) dan lama

perendaman 0, 1, 2, 4, dan 7 hari. Hasil penelitian berat hilang pada hari ke-7 campuran gradasi LL lebih tahan terhadap gaya impact dengan nilai kondisi kontrol sebesar 4,66%, kondisi *Short Term Oven Aging* (STOA) sebesar 9,20% dan kondisi *Long Term Oven Aging* (LTOA) sebesar 7,09% sedangkan persen kehilangan tersebar pada gradasi MR kondisi *Long Term Oven Aging* (LTOA) sebesar 31,14%. Campuran bergradasi LL memiliki nilai durabilitas paling baik jika dibandingkan dengan MR dan UL. Nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP) pada kondisi kontrol pada variasi UL, MR, dan LL sebesar 15,74%, 36,24%, dan 35,51%. Kondisi STOA sebesar 24,56%, 29,59%, 36,17% dan pada kondisi LTOA sebesar 26,15%, 44,81%, 3,50%. Nilai IDK pada kondisi kontrol pada variasi UL, MR, dan LL sebesar 14,93%, 20,21%, 22,70%, Kondisi STOA sebesar 34,39%, 25,45%, 41,24% dan kondisi LTOA sebesar 28,80%, 32,26%, 3,12%.

Suryanto (2017) telah melakukan penelitian “Durabilitas Penuaan Campuran Beton Aspal Berdasarkan Uji Cantabro”. Tujuan penelitian untuk mengetahui durabilitas penuaan campuran beton aspal berdasarkan uji Cantabro. Metode yang digunakan pengujian Cantabro dengan menggunakan gradasi batas atas (UL), nilai tengah (MR), dan batas bawah (LL) pada proses penuaan (*aging*) dan lama perendaman 0, 1, 2, 4, dan 7 hari. Hasil penelitian berat hilang pada hari ke-7 campuran gradasi LL lebih tahan terhadap gaya impact dengan nilai kondisi kontrol sebesar 3,53%, kondisi *Short Term Oven Aging* (STOA) sebesar 8,29% dan kondisi *Long Term Oven Aging* (LTOA) sebesar 5,72% campuran bergradasi LL memiliki nilai durabilitas paling baik jika dibandingkan dengan MR dan UL. Nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP) pada kondisi kontrol pada variasi UL, MR, dan LL

sebesar 20,12%, 26,38%, dan 14,28%. Kondisi STOA sebesar 30,85%, 24,84%, 20,14% dan pada kondisi LTOA sebesar 26,78%, 24,38%, 16,15%. Nilai IDK pada kondisi kontrol pada variasi UL, MR, dan LL sebesar 18,42%, 23,45%, 12,80%, Kondisi STOA sebesar 28,69%, 21,83%, 17,41% dan kondisi LTOA sebesar 76,12%, 80,44%, 84,58%.

Winayati dkk (2017) telah melakukan penelitian “Analisis Penggunaan Abu Tandan Kelapa Sawit Sebagai Filler Ditinjau Dari Nilai Keausan Perkerasan (Cantabro Test)”. Tujuan penelitian untuk menganalisis keausan campuran AC-BC menggunakan bahan pengisi (*filler*) abu tandan kelapa sawit. Metode yang digunakan pengujian *Cantabro test* pada benda uji *Asphalt Concrete – Binder Course*) dengan menggunakan bahan pengisi (*filler*) abu tandan kelapa sawit pada persentase 25% abu tandan sawit dan abu batu 75%. Hasil penelitian nilai *Cantabro test* sebesar 8,24% dan memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu keausan <20%. Sehingga abu tandan sawit sebagai *filler* dengan komposisi 25% abu tandan sawit dan abu batu 75% dapat memberikan kontribusi dalam ketahanan perkerasan aspal.

Hadiastari (2018) telah melakukan penelitian “Kinerja Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11 Dengan Filler Abu Sekam Padi Akibat Lama Rendaman Air Laut”. Tujuan penelitian untuk mengetahui kinerja campuran Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11 dengan menggunakan abu sekam padi sebagai filler pengganti, apabila terendam air laut dengan waktu rendaman 48 jam dan 96 jam. Metode yang digunakan perendaman benda uji dengan air laut pengujian Marshall, *immersion*, *indirect tensile strength*, *cantabro*, dan permeabilitas. Hasil penelitian

menunjukkan penambahan abu sekam padi meningkatkan nilai stabilitas dan MQ. Pada kadar 75% dan 100% untuk nilai filler mengalami penurunan dan nilai *flow* mengalami peningkatan. Nilai stabilitas, flow dan MQ perendaman air laut mengalami penurunan. Penurunan stabilitas terbesar pada kadar filler 100% sebesar 25,07% rendaman 48 jam, 35,51% rendaman 96 jam. Penurunan nilai *flow* terbesar pada kadar filler 75% sebesar 16,57% rendaman 48 jam, 18,24% rendaman 96 jam. Penurunan nilai MQ terbesar pada kadar filler 25% sebesar 20,96% rendaman 48 jam, 28,59% rendaman 96 jam. Nilai IRS abu sekam padi pengganti filler campuran SMA 0/11 tidak memenuhi spesifikasi *Asphalt Institute* yaitu >75% kecuali pada kadar filler 50% memenuhi persyaratan dengan nilai 76,88%. Nilai ITS campuran SMA 0/11 filler abu sekam padi mengalami penurunan untuk rendaman air laut nilai ITS menurun 15,06% rendaman 48 jam dan 22,09% rendaman 96 jam. Nilai Cantabro mengalami peningkatan persentase kehilangan berat. Kadar filler 50% campuran SMA 0/11 merupakan campuran yang paling baik menahan beban saat terjadi genangan air laut.

Llanos et al (2018) telah melakukan penelitian "*Effect of The Asphaltene Oxidation Process on The Formation of Emulsions of Water in Oil (W/O) Model Solutions*". Tujuan penelitian formasi air dalam minyak solusi model emulsi larutan menggunakan *asphaltenes* yang tidak diolah dan dioksidasi sebagai evaluasi menggunakan pengemulsi. Metode yang digunakan *asphaltenes* dioksidasi pada dua suhu yang berbeda yaitu 373 K dan 473 K untuk variasi waktu pemaparan. *Asphaltenes* yang tidak diolah dan dioksidasi memiliki karakteristik dari analisis termogravimetri, analisi unsur C, H, N, S dan O, pengujian solvabilitas dalam

toluena, dan indeks kualitatif struktur dari *Fourier-transform infrared spectroscopy*. Hasil penelitian kelarutan *asphaltenes* menurun hingga 93% pada temperatur oksidasi dan meningkatnya waktu pemaparan. Jumlah air dalam oil emulsi meningkat saat *asphaltenes* terkonsentrasi, waktu pemaparan, dan meningkatnya temperatur oksidasi. Dengan *asphaltenes* dioksidasi pada temperatur 373 K dan 473 K, formasi air dalam minyak emulsi meningkat sekitar 30% dan 70% untuk penetapan konsentrasi *asphaltene* pada masing-masing temperature. Hasil *Interfacial Tension* (IFT) setelah oksidasi tidak ada asam karboksilat yang terbentuk. Hipotesis reaksi oksidasi dari *asphaltenes* menjadi keton dan sulfoksida, mengakibatkan hilangnya nitrogen dan rantai alkil.

Arlia (2018) telah melakukan penelitian “Karakteristik Campuran Aspal Porus Dengan Substitusi Gondorukem Pada Aspal Penetrasi 60/70”. Tujuan penelitian untuk mengetahui karakteristik campuran aspal porus dengan substitusi gondorukem (hasil penyulingan getah dari pohon pinus *merkusii*) ke dalam aspal penetrasi 60/70. Metode yang digunakan *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) dengan parameter nilai *Cantabro Loss* (CL), dan *Asphalt Flow Down* (AFD). Hasil penelitian diperoleh KAO 5,56% dengan substitusi 8% gondorukem. Penambahan gondorukem berpengaruh terhadap nilai karakteristik Marshall, CL dan AFD, nilai stabilitas, VIM, CL dan AFD meningkat seiring peningkatan persentase gondorukem. Pada KAO 5,56% nilai stabilitas sebesar 554,81 kg, nilai VIM sebesar 18,04%, nilai CL sebesar 20,66% dan nilai AFD sebesar 0,28%.

Adiwijaya (2019) telah melakukan penelitian “Kajian Perbandingan Nilai Karakteristik Marshall Pada Aspal Buton (Asbuton) Pengaruh Dari Rendaman Air

Laut dan Air Tawar Di Laboratorium”. Tujuan penelitian untuk mengetahui karakteristik Marshall pada aspal buton (asbuton) menggunakan rendaman air laut dan air tawar. Metode yang digunakan pengujian laboratorium yang berdasarkan ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 (Revisi 3) untuk campuran aspal modifikasi atau jenis aspal buton merek JBMA50 dengan rendaman air rendaman sebelum uji marshall menggunakan air laut dan menggunakan air tawar. Hasil penelitian diperoleh nilai stabilitas Marshall pada rendaman air tawar yaitu 1551 kg dan rendaman air laut sebesar 1272 kg dengan deviasi nilai tersebut sebesar 17,99% sedangkan nilai kelelahan (*flow*) deviasi sebesar 5,71%. Sehingga hasil tersebut menunjukkan sifat korosifitas air laut menyebabkan penurunan kekuatan nilai stabilitas dibandingkan air tawar.

2.2 Keaslian Penelitian

Penelitian ini memiliki perbedaan dengan penelitian Tahir dan Setiawan (2009), Sarjono (2011), Tjemma (2017), Suryanto (2017), Winayati dkk (2017), Hadiastari (2018), Llanos et al (2018), Arlia (2018), dan Adiwijaya (2019). Adapun perbedaan penelitian seperti sumber material yang digunakan dari daerah Candi Muara Takus, Kabupaten Kampar, Provinsi Riau di produksi oleh PT. Riau Mas Bersaudara dan menggunakan 3 variabel rendaman air untuk proses penuaan yaitu berupa air gambut, air mineral dan air hujan di Kota Pekanbaru, Provinsi Riau. Metode penelitian yang digunakan berupa pengujian Cantabro pada kondisi penuaan jangka panjang atau *Long Term Oven Aging* (LTOA) dengan benda uji kadar aspal optimum (KAO) dan pengujian Marshall terhadap benda uji LTOA.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton Aspal (*Asphalt Cement*)

Beton aspal merupakan istilah yang diperuntukkan bagi permukaan jalan bergradasi rapat yang dibuat dari agregat mineral panas yang dicampur dengan aspal panas di pabrik. Pada umumnya meliputi beton aspal maupun campuran serupa yang dibuat dengan tar bisa disebut dengan istilah beton berbitumen. Biasanya beton aspal digunakan untuk lapis permukaan (*surface course*), lapis perata (*levelling*), dan lapis pengikat/antara (*binder*). Agregat kasar digunakan berupa batu pecah atau kerikil pecah yang dikombinasikan dengan pasir dan bahan pengisi (*filler*). Sedangkan, sheet asphalt hanya menggunakan pasir dan bahan pengisi.

Standar Nasional Indonesia (1989) mendefinisikan lapisan aspal beton (*laston*) adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan raya yang komposisinya terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu.

Oglesby dan Hicks (1996) beton aspal adalah jenis tertinggi dari perkerasan berbitumen bergradasi rapat dan cocok untuk jalan yang paling banyak dilalui kendaraan berat. Suhu pencampuran dan penghamparan beton aspal biasanya antara 275°F-300°F dan membutuhkan bahan pengikat semen aspal. Dalam usaha menghemat energi biasanya digunakan pada temperatur lebih rendah yaitu 240°F-275°F. Agregat (batuan) yang digunakan berkualitas baik dan sesuai dengan

spesifikasi mutu yang telah ditentukan dalam batasan-batasan pemakaian dan pencampuran agregat untuk *hot mix asphalt*. Kelebihan atau keunggulan beton aspal ialah dapat digunakan setelah pembuatan atau pelaksanaan pemadatan dilapangan.

Asphalt Institute (1996) merupakan material dasar dari jenis aspal. Aspal beton material yang semi padat digunakan dalam pembuatan campuran aspal panas, dan untuk perbaikan lapis permukaan, lapisan penutup, dan bahan pengisi retak. Berbagai sistem penilaian khusus digunakan untuk beton aspal mulai dari kekerasan (*hardness*), kekentalan (*viscosity*), dan karakteristik kekuatan yang diinginkan. Aditif (*additives*) atau modifikasi kombinasi dapat digunakan dengan beton aspal untuk penggantian material.

Asphalt Institute (2001) menyatakan beton aspal merupakan jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran aspal dan agregat dengan menggunakan bahan tambahan atau tanpa bahan tambahan. Material-material yang digunakan untuk pembentukan beton aspal dicampur di dalam instalasi wadah pencampur pada suhu tertentu, kemudian dibawa ke lokasi penghamparan dan dihamparkan lalu dipadatkan. Suhu pencampuran antara 145°C-155°C apabila digunakan jenis semen aspal sehingga hal ini disebut beton aspal campuran panas atau *hotmix*.

Spesifikasi Umum Bina Marga (2010) Revisi 3 menguraikan bahwa Lapis Aspal Beton (Laston) yang selanjutnya disebut AC (*Asphalt Cement*), terdiri dari tiga jenis campuran, Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC), Aspal Beton Lapis Antara (AC-Binder Course, AC-BC) dan Aspal Beton Lapis Pondasi (AC-Base) dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm, 37,5

mm. Setiap jenis campuran aspal beton yang menggunakan bahan Aspal Polimer atau Aspal Dimodifikasi dengan Aspal Alam disebut masing-masing sebagai AC-WC Modified, AC-BC Modified, dan AC-Base Modified.

Hardiyatmo (2011) semen aspal adalah aspal yang telah diproses dalam pengelolaannya menjadi bahan-bahan perkerasan, atap, industri, dan lain sebagainya. Semen aspal pada temperatur ruangan berkisar antara 20°C-30°C yang berbentuk padat dan dapat mencair apabila di panaskan. Pada perkerasan jalan semen aspal merupakan material semi padat untuk membuat aspal panas (*hotmix*), lapisan penutup (*seal coat*), pengisi retak (*crack filling*), dan perawatan permukaan perkerasan.

Sukirman (2016) beton aspal merupakan jenis perkerasan yang terdiri dari material campuran agregat dan aspal secara homogen, dengan atau tanpa bahan tambahan. Material-material pembentuk beton aspal dicampur di instalasi pencampur pada suhu tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan, dan dipadatkan.

3.2 Klasifikasi Campuran Beton Aspal

Klasifikasi campuran beton aspal berdasarkan fungsinya lapis aspal beton mempunyai kandungan agregat dan aspal yang berbeda. Diperuntukkan untuk lapis aus maka digunakan kadar aspal yang dikandung haruslah cukup sehingga dapat memberikan lapis yang kedap air dan agregat yang digunakan lebih halus dibandingkan dengan aspal beton yang berfungsi sebagai lapis pondasi. Berdasarkan fungsinya aspal beton campuran panas dapat diklasifikasikan terdiri

dari lapis permukaan (*surface course*), lapis pembentuk pondasi, dan lapis pondasi sebagai berikut (Sukirman, 2016).

1. Sebagai lapis permukaan yang tahan terhadap cuaca, gaya geser, dan tekanan roda serta memberikan lapis kedap air yang dapat melindungi lapis dibawahnya dari rembesan air,
2. Sebagai lapis pembentuk pondasi, jika dipergunakan pada pekerjaan peningkatan atau pemeliharaan, dan
3. Sebagai lapis pondasi atas untuk memikul beban kendaraan.

3.3 Karakteristik Campuran Beton Aspal

Karakteristik campuran beton aspal diperuntukkan agar campuran beton aspal memiliki mutu dan kualitas yang tinggi sebagai perkerasan lentur sehingga diharapkan campuran beton aspal memenuhi unsur karakteristik seperti stabilitas (*stability*), kelenturan (*flexibility*), daya tahan atau keawetan (*durability*), ketahanan kelelahan (*fatigue Resistance*), kemudahan pekerjaan (*workability*), kekesatan permukaan (*skid resistance*), dan kedap air (*impermeable*) (Sukirman, 2016).

1. Stabilitas (*Stability*) merupakan kemampuan dari lapisan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas setingkat dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut. Jalan dengan volume lalu lintas tinggi dan sebagian besar merupakan kendaraan berat menuntut stabilitas yang lebih besar dibandingkan dengan jalan dengan volume lalu lintas yang hanya terdiri dari kendaraan penumpang saja.

Kestabilan yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan itu menjadi kaku dan cepat mengalami retak, disamping itu karena volume antar agregat kurang, mengakibatkan kadar aspal yang dibutuhkan pun rendah. Hal ini menghasilkan film aspal tipis dan mengakibatkan ikatan aspal mudah lepas sehingga durabilitasnya rendah. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Dengan demikian stabilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan mengusahakan penggunaan beberapa faktor berikut (Sukirman, 2016).

- a. Agregat bergradasi rapat (*dense graded*),
- b. Agregat dengan permukaan yang kasar,
- c. Agregat berbentuk kubus,
- d. Aspal berpenetrasi rendah, dan
- e. Kadar aspal optimum untuk ikatan campuran dengan agregat.

Agregat bergradasi baik, bergradasi rapat memberikan rongga antar butiran agregat atau *voids in mineral agregat* (VMA) yang kecil. Keadaan ini menghasilkan stabilitas yang tinggi, akan tetapi membutuhkan kadar aspal yang rendah untuk mengikat agregat. *Voids in mineral agregat* (VMA) yang kecil mengakibatkan aspal tidak dapat menyelimuti agregat dengan baik atau terbatas dan menghasilkan selimut/film aspal yang tipis. Film aspal yang tipis akan mudah lepas yang mengakibatkan adanya rongga antar agregat sehingga lapisan tidak lagi kedap air, oksidasi mudah terjadi, dan lapis perkerasan menjadi rusak. Pemakaian aspal yang banyak mengakibatkan aspal tidak lagi dapat menyelimuti agregat dengan baik karena VMA kecil dan juga menghasilkan rongga antar campuran atau *voids in mix*

(VIM) yang kecil. Adanya beban lalu lintas yang menambah pemadatan lapisan mengakibatkan lapisan aspal meleleh keluar yang dinamakan *bleeding*.

2. Kelenturan (*Flexibility*) pada lapisan perkerasan adalah kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Fleksibilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan (Sukirman, 2016).
 - a. Penggunaan agregat bergradasi senjang sehingga diperoleh VMA yang besar,
 - b. Penggunaan aspal lunak atau aspal dengan penetrasi yang tinggi, dan
 - c. Penggunaan aspal yang cukup banyak sehingga diperoleh VIM yang kecil.
3. Daya Tahan atau Keawetan (*Durability*) diperlukan pada lapisan permukaan sehingga lapisan dapat mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu ataupun keausan akibat gesekan kendaraan. Faktor yang mempengaruhi durabilitas lapis aspal beton adalah (Sukirman, 2016):
 - a. Film aspal atau selimut aspal, film aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis aspal beton yang berdurabilitas tinggi, tetapi kemungkinan terjadinya *bleeding* menjadi tinggi,
 - b. VIM kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk kedalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh/getas, dan
 - c. VMA besar, sehingga film aspal dapat dibuat tebal. Jika VMA dan VIM kecil serta kadar aspal tinggi kemungkinan terjadinya *bleeding* besar. Untuk nilai VMA yang besar dipergunakan agregat bergradasi senjang.

4. Ketahanan Kelelahan (*Fatigue Resistance*) adalah ketahanan dari lapis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (*ruting*) dan retak. Faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah (Sukirman, 2016).
 - a. VIM yang tinggi dan kadar apal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan yang lebih cepat, dan
 - b. VMA yang tinggi dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi fleksibel.
5. Kemudahan Pekerjaan (*Workability*) adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. Faktor yang mempengaruhi kemudahan dalam pelaksanaan adalah (Sukirman, 2016).
 - a. Gradasi agregat, agregat bergradasi baik lebih mudah dilaksanakan dari pada agregat bergradasi lain,
 - b. Temperatur campuran, yang ikut mempengaruhi kekerasan bahan pengikat yang bersifat termoplastis, dan
 - c. Kandungan bahan pengisi (*filler*) yang tinggi menyebabkan pelaksanaan lebih sukar.
6. Kekesatan Permukaan (*Skid Resistance*) adalah kekesatan yang diberikan oleh perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik diwaktu hujan atau basah maupun diwaktu kering. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antar permukaan jalan dan ban kendaraan. Tahanan Geser tinggi jika (Sukirman, 2016).

- a. Penggunaan kadar aspal yang tepat sehingga tak terjadi *bleeding*,
 - b. Penggunaan agregat dengan permukaan kasar,
 - c. Penggunaan agregat berbentuk kubus, dan
 - d. Penggunaan agregat kasar yang cukup.
7. Kedap Air (*Impermeable*) dimaksudkan kededapan campuran beraspal terhadap masuknya air dan udara. Hal ini diperlukan untuk mencegah lolosnya air dan kontak langsung aspal dengan udara. Air dan udara akan mempercepat proses penuaan aspal. air dapat menyebabkan pengelupasan lapis film aspal yang berada di permukaan agregat.

3.4 Material Campuran Beton Aspal

Material campuran beton aspal pada umumnya terdiri dari aspal, agregat dan bahan pengisi atau bahan tambah (*filler*). Masing – masing material mempunyai fungsi untuk membentuk campuran beton aspal yang baik sehingga nantinya dapat mencapai masa layanan yang direncanakan. Adapun penjelasan dari material campuran beton aspal sebagai berikut.

3.4.1 Aspal

Asphalt Institute (1989), berdasarkan *According to the American Society for Testing and Material* (ASTM), aspal adalah material yang berwarna coklat gelap kehitaman dimana yang mendominasi unsur bitumen hal itu terjadi secara alami atau diperoleh dengan proses minyak bumi. Aspal memiliki berbagai proporsi sebagian besar minyak mintah. Bitumen adalah tergolong hitam atau berwarna gelap (padat, semipadat, atau kental) zat semen, alami atau diproduksi dipabrik,

prinsipnya komponen bitumen tingginya berat molekul hidrokarbon diantaranya aspal, tar, *pitches*, dan *asphaltites*.

Definisi Aspal menurut Sukirman (1992) adalah material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat. Jika dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak atau cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk kedalam pori-pori yang ada pada penyemprotan atau penyiraman pada perkerasan macadam ataupun pelaburan. Jika temperatur mulai turun, aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya (sifat termoplastis). Sebagai salah satu material konstruksi perkerasan lentur, aspal merupakan salah satu komponen kecil, umumnya hanya 4%-10% berdasarkan berat atau 10%-15% berdasarkan volume, tetapi merupakan komponen yang relatif mahal.

Aspal merupakan material hasil penyaringan minyak mentah dan hasil dari industri perminyakan. Aspal merupakan material untuk perekat, yang berwarna coklat gelap sampai hitam, dengan unsur pokok yang dominan adalah bitumen. Hidrokarbon merupakan bahan dasar utama dari aspal yang sering disebut bitumen ini. Aspal yang terbentuk dari banyak molekul hidrokarbon ini mempunyai komposisi kimia yang bersifat bermacam-macam. Pembentukan koloid aspal bergantung pada sifat kimia dan persen dari molekul hidrokarbon, serta hubungan satu dengan yang lain. Sifat kimia dan fisik aspal yang bermacam-macam ini, disebabkan oleh bervariasinya sumber minyak mentah dan proses penyaringannya. Bahan pengikat di Amerika Utara umumnya disebut semen aspal (*asphalt cement*), sedang di Eropa disebut *bitumen* (Hardiyatmo, 2009). Aspal pada dasarnya ada dua

macam aspal dilihat dari proses terbentuknya aspal alam dan aspal pabrik (Asiyanto, 2010).

1. Aspal alam adalah aspal yang terbentuk oleh proses alam. Contohnya adalah aspal buton (Butas). Aspal alam ini biasanya kualitasnya tidak seragam.
2. Aspal pabrik adalah aspal yang terbentuk oleh proses yang terjadi dalam pabrik, sebagai hasil samping dari proses penyulingan minyak bumi. Aspal pabrik ini, mempunyai kualitas yang standar. Adapun jenis dari aspal pabrik ada 3 jenis yaitu sebagai berikut (Asiyanto, 2010).
 - a. Aspal keras (*Asphalt Cement/AC*) adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan panas. Aspal ini terbentuk padat pada keadaan penyimpanan atau temperatur ruangan disebut juga *Asphalt Cement (AC)*, suhu temperatur ruangan berkisar antara 25°C-30°C yang berbentuk padat. Aspal semen yang dibagi-bagi menurut angka penetrasinya pada temperatur 25°C ataupun berdasarkan nilai viskositasnya, aspal keras di Indonesia biasanya dibedakan berdasarkan nilai penetrasinya (Asiyanto, 2010).
 - i. AC pen 40/50, yaitu AC dengan penetrasi antara 40-50
 - ii. AC pen 60/70, yaitu AC dengan penetrasi antara 60-70
 - iii. AC pen 85/100, yaitu AC dengan penetrasi antara 85-100
 - iv. AC pen 120/150, yaitu AC dengan penetrasi antara 120-150
 - v. AC pen 200/300, yaitu AC dengan penetrasi antara 200-300

Aspal semen dengan penetrasi rendah digunakan di daerah beruaca panas atau lalu lintas dengan volume tinggi, sedangkan aspal semen dengan penetrasi tinggi digunakan untuk daerah beruaca dingin atau lalu lintas dengan volume

rendah. Indonesia pada umumnya dipergunakan aspal semen dengan penetrasi 60/70. Tabel 3.1 merupakan persyaratan aspal keras AC 60/70 terdiri dari penetrasi, titik lembek, titik nyala, kehilangan berat, kelarutan dalam C2HC13, daktalitas, penetrasi, dan berat jenis (Asiyanto, 2010).

Tabel 3.1 Persyaratan Aspal Keras (60/70) (Asiyanto, 2010)

Jenis Perkerasan	Persyaratan		Satuan
	Minimum	Maksimum	
Penetrasi	60	79	0,1 mm
Titik Lembek	48	58	°Celcius
Titik Nyala	200	-	°Celcius
Kehilangan Berat	-	0.8	% Berat
Kelarutan dalam C2HC13	99	-	%Berat
Daktalitas (25°C)	100	-	Cm
Penetrasi Setelah Butir (4)	54	-	% Semula
Berat Jenis	1	-	Gr/cc

Tabel 3.1 merupakan persyaratan aspal keras dengan penetrasi 60/70 memiliki delapan jenis perkerasan dengan ketentuan syarat minimum dan maksimum. Digunakan untuk menentukan kelayakan pemakaian aspal pada campuran beton aspal.

b. Aspal cair (*Cut back asphalt*) adalah campuran antara aspal semen dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi. Dengan demikian *cut back asphalt* berbentuk cair dalam temperatur ruang. Aspal cair ini biasanya digunakan untuk pekerjaan *prime coat*, yaitu sebagai lapisan dasar dari aspal campuran yang berbatasan dengan lapisan subbase yang terdiri dari material granular. Lapisan *prime coat* ini diperlukan agar kadar aspal dari campuran

tidak berkurang karena meresap ke dalam lapisan subbase yang terdiri dari material granular tersebut.

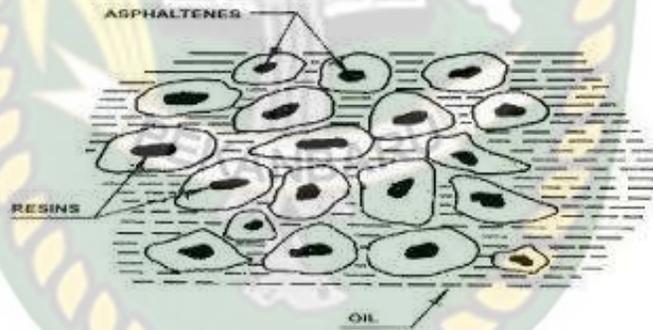
Bahan material aspal cair juga digunakan untuk *tack coat* yang berfungsi sebagai material perekat antar lapisan aspal campuran. Lapisan base yang terdiri dari material aspal campuran, biasanya digelar dengan ketebalan yang terbatas agar memperoleh lapisan yang benar-benar padat, sehingga terpaksa untuk ketebalan yang berlebih maka lapisan base digelar menjadi dua lapisan. Dalam hal ini permukaan lapisan pertama sebelum dilapisi lapisan kedua, diberi *tack coat* lebih dahulu dengan aspal cair. Berdasarkan bahan pencairnya dan kemudahan menguap bahan pelarutnya, aspal cair dapat dibedakan atas (Asiyanto, 2010).

- i. RC (*Rapid Curing Cut Back*) merupakan aspal semen yang dilarutkan dengan bensin atau premium. RC merupakan *cutback* aspal yang paling cepat menguap.
 - ii. MC (*Medium Curing Cut Back*) merupakan aspal semen yang dilarutkan dengan bahan pencair yang lebih kental seperti minyak tanah.
 - iii. SC (*Slow Curing Cut Back*) merupakan aspal semen yang dilarutkan dengan bahan yang lebih kental seperti solar. Aspal jenis ini merupakan *cutback* aspal yang paling lama menguap.
- c. Aspal emulsi (*Emulsion asphalt*) adalah campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi. Berdasarkan muatan listrik yang dikandungnya, aspal emulsi dibedakan atas (Asiyanto, 2010).

- i. Kationik disebut juga aspal emulsi asam, merupakan aspal emulsi yang bermuatan arus listrik positif,
- ii. Anionik disebut juga aspal emulsi alkali, merupakan aspal emulsi yang bermuatan negatif, dan
- iii. Nonionik merupakan aspal emulsi yang tidak mengalami ionisasi, berarti tidak mengantakan listrik.

A. Komposisi Aspal

Aspal merupakan unsur hidrokarbon yang sangat kompleks, sangat sukar untuk memisahkan molekul-molekul yang membentuk aspal tersebut. Disamping itu setiap sumber dari minyak bumi menghasilkan komposisi molekul yang berbeda beda. Gambar 3.1 komposisi aspal terdiri dari *asphaltenes*, *resins*, dan *oil*.



Gambar 3.1 Komposisi Aspal (Sukirman, 2016)

Pada Gambar 3.1 Komposisi Aspal terbagi menjadi 3 unsur kimia pembentuknya yaitu *asphaltenes*, *resins*, dan *oil*. *Asphaltenes* terdiri dari unsur karbon dan hidrogen yang mempengaruhi sifat rheologi/kekentalan aspal. *Resins* merupakan bagian dari *maltenes* yang mengandung sedikit oksigen, sulfur dan nitrogen bersifat sangat polar berfungsi sebagai adesif aspal. *Oil* media penghubung antara *asphaltenes* dan *resins*.

Sukirman (1992) komposisi dari aspal terdiri dari atas asphaltenes dan maltenes. Asphaltenes merupakan material berwarna hitam atau coklat tua yang tidak larut dalam heptane. Maltanes larut dalam heptane, merupakan cairan berwarna kuning atau coklat tua. Hal ini memberikan sifat adhesi dari aspal, merupakan bagian yang mudah hilang atau berkurang selama masa pelayanan jalan. Oil yang berwarna lebih muda merupakan media dari asphaltenes dan resin.

Partikel padat (*asphaltenes*) tersebar didalam matriks berminyak (*maltenes*) dalam model koloid. *Asphaltenes* dan *maltenes* merupakan fraksi yang terpisah oleh penyerapan elusi yang melibatkan cairan *chromatography* pada alumina aktif (Corbett, 1970). Menurut pendapat Swiertz (2010) fraksi *maltenes* terpisah oleh *saturate, aromatic, resin* dan *asphaltene* (SARA) fraksi lihat Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Karakteristik Fraksi SARA (Swiertz, 2010)

Fraksi	Polaritas	Berat Molekul Aspal (%)	Karakteristik	Warna
Saturate	Tidak-Polaritas	5-20	Minyak Kental	Putih
Aromatic	Tidak-Polaritas	40-65	Cairan Kental	Coklat Gelap
Resin	Sangat Polaritas	+/- 20	Padat ke Semi Padat	Coklat Gelap
Asphaltene	Sangat Polaritas	5-25	Padat	Hitam/Gelap

Tabel 3.2 menjelaskan karakteristik fraksi SARA artinya fraksi *saturate, aromatic, resin, dan asphaltene*. Karakteristik dari Masing –masing fraksi dilihat dari sifat polaritas, berat molekul aspal (%), bentuk karakteristik, dan warna pada fraksi SARA.

Aspal merupakan bahan yang bersifat kental dan elastis (*viscoelastic*) yang mana diperoleh dari minyak mentah atau dari endapan lapisan bumi. Komposisi bahan kimia yang kompleks atau rumit, terutama terdiri dari *carbon* sebesar 80%-88% dan atom *hydrogen* berkisar antara 8%-12%. Elemen lainnya yaitu *sulphur* sebesar 0%-9%, *oxygen* dan *nitrogen* berkisar antara 0%-2%, dimungkinkan juga terdapat tanda-tanda unsur *vanadium*, *nickel*, dan *manganese* (Petersen, Robertson, Branthaver, Harsenberg, Duvall, Kim, Anderson, Christiansen, dan Bahia, 1994).

B. Sifat Kimia dan Fisik Aspal

Totomihardjo (1995) sifat kimia dan fisik aspal terbagi menjadi beberapa bagian yaitu kekentalan (*viscosity*), kuat tarik (*tensile strength*), kekakuan aspal (*stiffness/modulus of bitumen*), *penetration index* (PI), adesi (*adhesion*) dan kohesi (*cohesion*), pengaruh cuaca (*effect of weather*), warna (*color*), berat jenis (*specific gravity*), dan durabilitas (*durability*). Berikut penjelesan dari masing – masing sifat kimia dan fisik aspal.

1. Kekentalan (*Viscosity*) merupakan faktor penentu jenis aspal emulsi dan temperatur dalam campuran aspal beton. Faktor kekentalan dipengaruhi oleh temperatur, lama perendaman, waktu (*effec of time*) adapun penjelesannya sebagai berikut (Totomihardjo, 1995).
 - a. Temperatur mempengaruhi sifat fisik aspal apabila temperatur tinggi maka kekentalan aspal akan menurun. Hal ini disebabkan oleh energi termal/thermal energy meningkat dan melarutkan *asphaltenese*-nya ke dalam oils. Aromatic mineral oils mempunyai daya pelarut *asphaltense* yang lebih besar dibanding dengan *Aromatic mineral oils* mempunyai daya larut *asphaltense* yang lebih

besar dibanding dengan *paraffinic mineral oils*, sehingga aspal yang berasal dari *aromatics based bitumen* cenderung bersifat lebih peka terhadap perubahan suhu (*higher temperature susceptibility*) bila dibandingkan dengan *paraffinic based bitumen*.

- b. Lama pembebanan apabila beban lalu lintas yang bekerja maka pembebanan yang lama akan terjadi pada lalu lintas dengan kecepatan rendah atau sebaliknya, dengan semakin lama pembebanannya maka aspal yang semula bersifat elastik akan bersifat lebih *viscous*.
 - c. Waktu (*Effect of Time*) berkaitan dengan sifat tahan lama aspal sebagai bahan jalan. Apabila aspal dibiarkan dalam keadaan yang tidak/jarang sekali mendapat beban, maka ternyata kekentalan aspal akan naik. Perubahan kekentalan ini sebanding dengan waktu, dan terjadi pada komposisi kimia yang tetap (*thixotropy*). *Thixotropy* ini dapat dihilangkan dengan cara memberikan tegangan/beban atau pemanasan pada aspal tersebut. Kekentalan bitumen umumnya diukur dengan cara *penetration test* dan *softening point*.
2. Kuat Tarik (*Tensile Strength*), juga dipengaruhi oleh temperatur dan lama pembebanan. Kuat tarik aspal ini akan lebih nampak nyata pada suhu rendah. Untuk mengetahui kuat tarik aspal dapat dilakukan percobaan titik pecah fraass (*frass breaking test*).
 3. Kekakuan Aspal (*Stiffness/Modulus of Bitumen*) merupakan aspal dapat berada pada kondisi elastis maupun viskos, *strain* atau regangan aspal juga dapat berada didaerah elastis maupun daerah viskos. Kondisi aspal ini sangat tergantung pada lama pembebanan dan suhu, sehingga regangan viskos

(*viscous strain*) juga dipengaruhi oleh lama pembebanan dan suhu. Akibatnya kekakuan aspal juga dipengaruhi oleh lama pembebanan dan suhu lihat Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Sifat Kekakuan Aspal Dipengaruhi Lama Pembebanan dan Suhu (Totomiharjo, 1995)

Lama Pembebanan	Suhu	Sifat
Singkat	Rendah	Elastik
Sedang	Sedang	Viskos-Elastik
Panjang	Tinggi	Viskos

Pada Tabel 3.3 menunjukkan sifat kekakuan aspal dipengaruhi lama rendaman dan suhu. Jika pembebanan singkat suhu menjadi rendah sehingga sifat aspal elastik, jika pembebanan sedang suhu menjadi sedang sehingga sifat menjadi viskos – elastik, dan jika pembebanan panjang suhu menjadi tinggi sehingga sifat menjadi viskos.

4. Warna (*color*) aspal memiliki warna yang hitam atau coklat tua kehitam-hitaman. Adapun untuk tujuan penggunaan tertentu biasanya aspal dapat diberi warna, seperti : merah, hijau, biru, putih.
5. Berat Jenis (*Specific Gravity*) aspal merupakan perbandingan antara nilai berat bitumen dan nilai berat aquadest dengan isi yang sama pada suhu tertentu, nilai berat jenis aspal bervariasi antara $0,95\text{gr/cm}^3$ - $1,05\text{gr/cm}^3$.
6. *Penetration Index (PI)* merupakan suatu penilaian yang digunakan untuk mengetahui ketahanan campuran terhadap deformasi beban lalu lintas. Aspal dengan nilai *penetration index* yang tinggi cenderung memiliki ketahanan terhadap deformasi beban lalu lintas. Tabel 3.4 menunjukkan klasifikasi aspal

berdasarkan nilai PI, sumber, persentase jumlah *aromatics*, dan sifat/properties.

Tabel 3.4 Klasifikasi Aspal Berdasarkan Nilai PI (Totomiharjo, 1995)

Sumber	Jumlah Aromatics (%)	PI	Properties
1. Blown	15	≥ 2	- Rubbery - Low temp. susceply
2. Steam refined/ Solven't extr'n	25	+2 - -2	- Normal - Medium temp. susceply
3. Cracked	50	≤ -2	- Brittle - High temp. susceply

Pada Tabe 3.4 klasifikasi aspal berdasarkan nilai PI terdiri dari tiga sumber yaitu *Blown*, *Steam refined/Solven't extr'n*, dan *cracked*. Masing – masing sumber menyatakan bahwa semakin tinggi nilai persentase jumlah aromatics maka nilai PI akan semakin kecil.

7. Adesi (*Adhesion*) dan Kohesi (*Cohesion*) merupakan kemampuan aspal dalam mengikat agregat sehingga dihasilkan ikatan yang kuat antara agregat dengan aspal. Kohesi adalah kemampuan aspal untuk tetap mempertahankan ikatan aspal dengan agregat. Daya adesi ini dapat dijelaskan dengan mengacu pada aspal emulsi kationik, yaitu aspal yang diberi tambahan amine. Tambahan bahan (amine) yang semakin bertambah banyak akan memberikan efek sebagai berikut (Totomihardjo, 1995).

a. Perkembangan daya adesi dari adesi biasa, adesi pasif, dan adesi aktif.

- b. Perkembangan gaya luar yang timbul dari tidak ada, kecil, sedang dan besar. Sedangkan besarnya daya adesi juga dipengaruhi oleh jenis bahan tambahannya.
8. Pengaruh Cuaca (*Effect of Weather*) pada aspal akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur bertambah atau bersifat termoplastis. Sifat ini dinamakan kepekaan terhadap perubahan temperatur karena aspal merupakan senyawa hidrogen dan karbon yang mungkin dalam kondisi tidak jenuh air (*unsaturated*), perubahan sifat yang sangat perlu diperhatikan yaitu reaktivitas terhadap oksigen. Hal ini disebabkan perletakan atau penempatan aspal di udara terbuka atau terpapar langsung dengan oksigen.
9. Durabilitas (*Durability*) merupakan kemampuan aspal untuk mempertahankan sifat asalnya akibat pengaruh cuaca selama masa pelayanan jalan disebut durabilitas atau daya tahan aspal. Sifat ini merupakan sifat dari campuran aspal, sifat ini tergantung dari sifat agregat, campuran dengan aspal, faktor pelaksanaan dan lain sebagainya. Meskipun demikian sifat ini dapat diperkirakan dari pemeriksaan *Thin Film Oven Test* (TFOT). Sifat tahan lama ini sangat diperlukan dalam hubungannya dengan air serta adanya *aging of bitument* akibat kemungkinan terjadinya oksidasi.

3.4.2 Agregat

American Society For Testing and Material (1974) mendefinisikan batuan merupakan suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat (batuan) merupakan komponen

utama dari lapisan perkerasan jalan yang mengandung 90%-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75%-85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian daya dukung, keawetan dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material aspal dan material lainnya.

A. Klasifikasi Agregat

Totomihardjo (1995) klasifikasi agregat dapat dibagi menjadi tujuh bagian yaitu berdasarkan *engineering properties*, proses alami atau asal terbentuknya batuan, gradasi agregat, ukuran butiran partikel – partikel agregat, bentuk butiran, proses terjadinya agregat, dan tekstur permukaan/*surface texture*. Berikut penjelasan dari masing –masing klasifikasi.

1. Berdasarkan *engineering properties* pendapat para ilmu batuan atau petrologi cara ini kadang-kadang ditemui pada jenis batu yang sama tetapi sifatnya berbeda-beda.
2. Berdasarkan proses alami atau asal terbentuknya batuan pada cara ini akan didapat agregat yang berasal dari batuan alami dan batuan buatan (Totomihardjo, 1995).
 - a. Batuan alami terdiri dari, 1). Batuan beku (*igneous rock*) adalah batuan yang berasal dari magma yang mendingin dan membeku. Dibedakan atas batuan beku luar (*extrusive igneous rock*) dan batuan beku dalam (*intrusive igneous rock*). Batuan beku luar dibentuk dari material yang keluar ke permukaan bumi di saat gunung berapi meletus. Akibat pengaruh cuaca mengalami pendinginan dan membeku. Umumnya berbutir halus seperti batu

apung, andesit, basalt, obsidian, dll. Batuan beku dalam dibentuk dari magma yang tak dapat keluar ke permukaan bumi. Magma mengalami pendinginan dan membeku secara perlahan-lahan, bertekstur kasar dan dapat ditemui dipermukaan bumi karena proses erosi dan gerakan bumi. Batuan beku jenis ini antara lain granit, gabbro, diorit, dll. 2). Batuan sedimen (*sedimentary*) Sedimen dapat berasal dari campuran partikel mineral, sisa-sisa hewan dan tanaman. Pada umumnya merupakan lapisan-lapisan pada kulit bumi, hasil endapan di danau, laut dst. 3). Batuan metamorf (*metamorphic rock*), Berasal dari batuan sedimen ataupun batuan beku yang mengalami proses perubahan bentuk akibat adanya perubahan tekanan dan temperatur dari kulit bumi, berdasarkan strukturnya dapat dibedakan atas batuan metamorf yang masif seperti marmar, kwarsit dan batuan metamorf yang berfoliasi atau berlapis seperti batu sabak, filit, sekis.

- b. Batuan buatan (*artificial rock*) terdiri dari, 1). Agregat yang merupakan mineral filler/pengisi (Partikel dengan ukuran $< 0,075$ mm), diperoleh dari hasil sampingan pabrik-pabrik semen dan mesin pemecah batu (*stone crusher*).
- 2). Batuan sisa/bekas (*waste materials*)
3. Gradasi agregat merupakan distribusi partikel-partikel yang berdasarkan ukuran agregat untuk menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butiran sehingga sangat menentukan stabilitas dan menentukan dalam proses pelaksanaan. Gradasi agregat dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis gradasi yaitu gradasi rapat, terbuka, dan timpang (Totomihardjo, 1995).

- a. Gradasi rapat (*dense grading*) adalah campuran agregat kasar dan halus dalam porsi yang berimbang, sehingga dinamakan juga agregat bergradasi baik (*well graded*).
 - b. Gradasi terbuka atau seragam (*open grading*) merupakan agregat dengan ukuran yang hampir sama atau serupa dengan jumlah partikel agregat halus yang jumlahnya sedikit sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Hal ini akan menghasilkan perkerasan jalan yang sifat permeabilitas tinggi, stabilitas kurang, dan berat volume kecil.
 - c. Gradasi timpang (*gap grading*) disebut dengan gradasi buruk dan agregat tidak memenuhi karakteristik dari gradasi rapat dan terbuka. Agregat gradasi buruk yang pada umumnya digunakan untuk lapis perkerasan lentur adalah gradasi celah atau timpang yang campuran agregat dengan 1 fraksi hilang. Mutu agregat terletak antara gradasi terbuka dan rapat.
4. Ukuran butiran partikel-partikel agregat dimaksud agar memperoleh campuran perkerasan sesuai dengan gradasi yang akan direncanakan. Sehingga ukuran agregat harus memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Ukuran butiran agregat dikelompokkan menjadi tiga yaitu agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (filler) (Totomihardjo, 1995).
- a. Agregat kasar, dengan butiran tinggal dia atas ayakan nomor 4 atau agregat $> 4,75$ mm menurut ASTM dan menurut AASHTO > 2 mm.
 - b. Agregat halus, dengan butiran ukuran ayakan nomor 4 – nomor 200 atau < 2 mm dan $> 0,075$ mm menurut AASHTO.
 - c. Pengisi/filler/abu batu, dengan butiran lolos ayakan nomor 200.

5. Bentuk butiran agregat merupakan faktor yang mempengaruhi kualitas perkerasan baik dari segi kekuatan maupun kemudahan dalam pekerjaan (*workability*). Beberapa bentuk butiran agregat yaitu kubikal (*cubical*), bulat (*rounded*), lonjong (*elongated*), pipih (*flaky*), tak beraturan (*irregular*) adapun penjelasannya sebagai berikut (Totomihardjo, 1995).
 - a. Kubikal (*cubical*) partikel agregat berbentuk kubikal atau kubus terbentuk oleh mesin pemecah batu yaitu *stone crusher* bidang kontak dari hasil pemecah batu ini luas sehingga memberikan interlocking antar partikel agregat apabila disatukan dan menghasilkan kestabilan yang kuat, tahan terhadap deformasi yang ada. Oleh karena itu agregat berbentuk kubus atau kubikal cocok untuk digunakan sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan.
 - b. Bulat (*rounded*) agregat yang dijumpai di sungai pada umumnya telah mengalami pengikisan oleh air sehingga bentuknya berbentuk bulat. Disebabkan bentuknya yang bulat maka apabila partikel bersentuhan menghasilkan bidang luas kontak yang kecil sehingga daya ikat atau interlockingnya yang sangat kecil dan bersifat licin atau mudah tergelicir.
 - c. Lonjong (*elongated*) pada umumnya partikel berbentuk lonjong ini dapat ditemui di sungai-sungai atau bekas endapan sungai. Partikel agregat dapat dikatakan lonjong apabila ukuran terpanjangnya $> 1,8$ kali diameter rata-rata. Nilai indeks kelonjongan merupakan perbandingan dalam persen dari berat agregat lonjong terhadap berat totalnya dan mempunyai sifat interlocking yang kecil.

d. Pipih (*flaky*) agregat berbentuk pipih biasa diperoleh dari mesin pemecah batu atau sifat dari agregatnya yang apabila dipecahkan cenderung menghasilkan bentuk yang pipih. Agregat ini memiliki ukuran 0,6 kali diameter rata-ratanya. Nilai indeks kepipihan (*flakiness index*) merupakan berat total agregat yang lolos slot dibagi berat total agregat yang tertahan pada ukuran nominal. Agregat ini bersifat mudah pecah apabila dalam proses pencampuran, pemadatan, dan akibat beban lalu lintas oleh sebab itu agregat pipih digunakan sesuai batasan nilai indeks kepipihan yang ditentukan.

e. Tak beraturan (*irregular*) bentuk dari partikel agregat ini yaitu tidak beraturan, stabilitas dan daya dukung lapis perkerasan antar partikel agregat dipengaruhi oleh gesekan antar partikel. Jenis permukaan agregat seperti permukaan kasar (*rough*), permukaan halus (*smooth*), agregat permukaannya yang licin dan mengkilap (*glassy*) dan agregat yang permukaannya berpori (*porous*) sangat mempengaruhi besarnya gesekan yang akan ditimbulkan. Agregat permukaan yang kasar lebih cenderung dipakai untuk perkerasan jalan dikarenakan adanya kekesatan gesekan yang menimbulkan interlocking antar partikel agregat dan mampu menahan deformasi yang timbul akibat adanya beban lalu lintas. Aspal akan cenderung tipis apabila agregat mempunyai pori yang besar sehingga mudahnya lepas butiran antar agregat dengan aspal dan agregat berpori biasanya lebih mudah pecah atau hancur. Agregat yang diperoleh dari sungai permukaannya halus dibandingkan dengan agregat hasil pemecah batu.

6. Berdasarkan proses terjadinya agregat dari aslinya sampai terbentuknya agregat dapat terjadi karena diangkut air (*water*), angin (*wind*), korosi (*corosion*), dan pemecah batu (*stone crusher*).
7. Tekstur permukaan (*surface texture*) merupakan faktor penentu kekuatan campuran perkerasan yang berfungsi sebagai kekesatan terhadap permukaan perkerasan dan interlocking terhadap campuran perkerasan. Tekstur permukaan agregat dapat berbentuk kasar, sedang ataupun halus.

B. Sifat Agregat

Sukirman (2016) menjelaskan bahwa sifat agregat merupakan salah satu faktor untuk menentukan kekuatan perkerasan jalan dalam memikul beban lalu lintas serta daya tahan terhadap cuaca. Dalam menentukan sifat agregat diperlukan ketelitian saat pengujian agar diperoleh kualitas agregat yang baik adapun hal yang menentukan yaitu gradasi, kebersihan, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kemampuan untuk menyerap air, berat jenis, daya ikat aspal dengan agregat, kekerasan dan ketahanan.

3.4.3 Filler

Wignall et al (2003) *Filler* adalah batuan pecah, *slag*, atau semen portland, minimum 75% lewat saringan nomor 75 gm BS. Filler berguna untuk membantu dalam mengisi rongga-rongga yang kecil, meningkatkan viskositas *binder* dan dapat mencegah mengurangi lepasnya *binder* (bahan pengikat) dari agregat. Bina Marga (1987) berpendapat bahan yang disebut *filler* adalah debu batu, kapur, debu *dolomite* atau *portland cement* yang mempunyai fungsi untuk meningkatkan stabilitas dan mengurangi rongga udara dalam campuran.

3.5 Durabilitas Beton Aspal

Lee (1969) menjelaskan durabilitas semua bahan hamparan beraspal mengalami perubahan seiring dengan waktu dan dibawah reaksi dari panas, cuaca, dan lalu lintas. Perubahan terjadi secara menyeluruh, hal ini dapat mengurangi fungsi dari bahan perekat dan sebagai alat tahan terhadap air. Maka tingkat daya tahan dari bahan perekat beraspal mengalami perubahan disebut durabilitas. Pada umumnya menyetujui bahwa pengerasan aspal merupakan salah satu faktor yang penting diperhatikan karena pengerasan aspal menjadi keras dan hancur (*disintegrate*). Untuk itu diperlukan peninjauan sejauh mana dan rata-rata pengerasan aspal dapat menunjukkan indikasi yang berhubungan dengan durabilitas aspal dan banyak pengujian durabilitas telah mengemukakan memusatkan di sekitar evaluasi perlawanan dari aspal terhadap pengerasan. Adapun faktor yang menjadi kontribusi dari pengerasan aspal adanya kondisi sebagai berikut ini : *oxidation, volatilization, polymerization, thixotropy (age hadening* atau *hardening with time), syneresis* (pengeluaran minyak), *separation* (penyerapan dan pengisapan komponen aspal oleh agregat), *photo oxidation, water, microbiological deterioration* dan *photochemical action*.

Kreb dan Walker (1971) menjelaskan durabilitas beton aspal suatu kemampuan resistance terhadap disintegrasi yang diakibatkan oleh lalu lintas. Peningkatan durabilitas diperoleh dengan meningkatnya aspal pada tingkat tertentu agar tidak terjadi *coating* pada semua partikel agregat.

Roberts et al (1996) Durabilitas adalah sebuah pengukuran bagaimana bahan pengikat beraspal mengalami perubahan fisik seiring bertambah tuanya atau

terkadang disebut penuaan aspal. Secara umum, penuaan bahan perekat aspal, viskositasnya meningkat dan hal itu menyebabkan lebih kaku dan rapuh, penuaan perkerasan adalah hasil dari beberapa faktor diantaranya *oxidation*, *volatilization*, *polymerization*, *thixotropy*, *syneresis*, dan *separation*. *Asphalt Institute* (2001) menjelaskan durabilitas merupakan kemampuan untuk tahan terhadap beberapa faktor seperti penuaan aspal, disintegrasi agregat serta lepasnya lapisan aspal dari agregat diakibatkan *weather* dan *traffic*.

Suparma (2001) durabilitas campuran merupakan kemampuan campuran aspal untuk tidak cepat mengalami kerusakan yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan, pengaruh air, suhu serta pengaruh bahan bakar dari kendaraan dalam kurun waktu yang lama tanpa terjadi kerusakan yang signifikan. Durabilitas juga merupakan suatu fungsi yang berhubungan erat dengan kinerja bahan campuran aspal beton saat masa pelayanan dengan berbagai kondisi lapangan.

Sukirman (2016) durabilitas adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan, gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh tebalnya film atau selimut aspal, banyaknya rongga dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran. Selimut aspal yang tebal akan membungkus agregat secara homogen, sehingga beton aspal akan lebih kedap air. Dengan demikian beton aspal memiliki kemampuan menahan keausan. Sebaliknya, semakin tebal selimut aspal mengakibatkan beton aspal semakin mudah *bleeding*, yang mengakibatkan jalan menjadi licin. Banyaknya rongga yang tersisa dalam

campuran setelah pemadatan, mengakibatkan durabilitas beton aspal menurun. Semakin besar rongga yang tersisa, beton aspal semakin tidak kedap air. Semakin banyak udara di dalam beton aspal, menyebabkan semakin mudahnya selimut aspal beroksidasi dengan udara, menjadi getas, dan durabilitasnya menurun.

Durabilitas adalah kemampuan beton aspal untuk mempertahankan keutuhan strukturnya diharapkan sampai masa layanan jalan. Kerusakan efek dari lingkungan dan beban lalu lintas merupakan salah satu faktor mempengaruhi durabilitas perkerasan aspal yang diartikan sebagai kemampuan dari perkerasan untuk mempertahankan peningkatan yang lebih baik dari kondisi sehingga diharapkan sampai ke masa layanan aspal tanpa terjadi kerusakan pemeliharaan utama (Nicholls et al, 2008). Tabel 3.5 faktor mempengaruhi durabilitas campuran aspal, terdiri dari kategori umum dan khusus (WISCONSIN DOT, 2016).

Tabel 3.5 Faktor Mempengaruhi Durabilitas Pada Campuran Aspal (WISCONSIN DOT, 2016)

Kategori Umum	Faktor Khusus
Lingkungan	- Suhu - Kelembaban
Drainase	- Permukaan - Bawah Permukaan
Konstruksi	- Kondisi Cuaca - Lepas Butiran Campuran (<i>Segregation</i>) - Pemadatan - Sambungan - Ikatan Lapisan
Komposisi Campuran	- Bahan Agregat - Bahan Pengikat - Gradasi - Volumetrik

Pada Tabel 3.5 faktor mempengaruhi durabilitas pada campuran aspal dibagi menjadi empat kategori umum yaitu lingkungan, drainase, konstruksi, dan komposisi campuran. Faktor khusus merupakan uraian dari masing – masing kategori umum dari faktor mempengaruhi durabilitas.

3.6 Pengaruh Air Terhadap Perkerasan Jalan

Hoiberg (1965) kegunaan dari aspal dalam kebanyakan dari penerapannya berada didalam rendah permeabilitas air dan rendah penyerapan air. Secara konstan permeabilitas untuk aspal adalah 2 sampai 5×10^{-9} g-cm/sq cm-mm Hg-hr. Pfeiffer (1950) Aspal juga memiliki keterbatasan daya larut untuk air berkisar 0,01%, penelitian menunjukkan bahwa penyerapan air oleh aspal adalah kejadian pada lapis permukaan. Persentase penyerapan menurun dengan meningkatnya ketebalan film (lapisan). Film aspal 5 mm terekspose untuk menyadap air selama 10 tahun. 6% penyerapan air untuk lapisan luar dan 1,5% penyerapan air untuk lapisan dalam dengan catatan kondisi ini terbuka luas untuk air yang jarang ada pada perkerasan aspal.

Traxler (1963) Pengaruh utama kerusakan akibat air diatas perkerasan aspal adalah sebagai berikut : Pertama, hilangnya air yang larut menghasilkan kerusakan karena oksidasi dan foto oksidasi. Kedua, air merupakan zat yang menghasilkan katalisator (percepatan reaksi kimia pada suhu tertentu) dikarenakan sejumlah reaksi kimia, oksidasi dan foto oksidasi. Air tidak boleh diabaikan karena air merupakan peran penting daya tahan dari campuran perkerasan aspal yang berdampak terhadap sifat adhesi pada aspal. Buruknya ikatan bahan pengikat pada

dalam melapisi permukaan agregat dan permeabilitas dapat menyebabkan disintegrasi (kehancuran) dan kegagalan struktur perkerasan.

Hicks (1991) berpendapat terjadinya kerusakan perkerasan beton aspal disebabkan oleh rendaman yang berkaitan dengan mekanisme dari kehilangan adhesi dan kehilangan kohesi. Masuknya air kedalam lapisan beton aspal yang menyebabkan daya lekat aspal antar agregat lepas atau lapisan tipis aspal (*aphalt film*) mengelupas disebut adhesi, sedangkan penyebab terjadinya kohesi dikarenakan lunaknya beton aspal oleh air yang melemahkan ikatan antar aspal dengan agregat. Nurhudayah dkk (2009) berpendapat bahwa pengaruh genangan air terhadap kerusakan jalan akan berdampak terhadap pelemahan tanah dasar (daya dukung tanah) dan mempercepat proses terjadinya kerusakan retak.

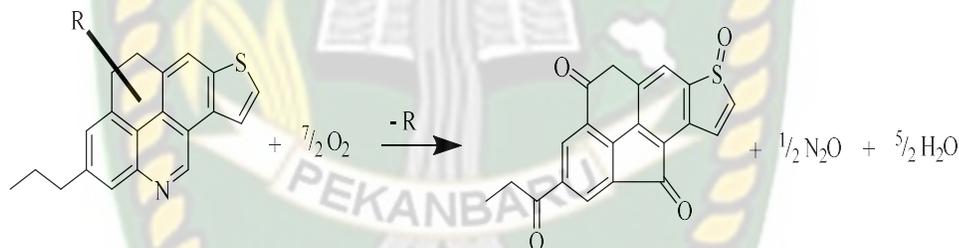
3.7 Unsur dan Reaksi Kimia

Rahayu (2009) unsur kimia merupakan zat yang tidak dapat diuraikan lagi menjadi zat yang lebih sederhana dan hanya memiliki satu jenis atom. *Atom* merupakan unit terkecil dari suatu unsur yang dapat melakukan penggabungan kimia. Struktur sebuah atom terdiri dari Elektron (partikel yang bermuatan negatif), Proton (partikel yang bermuatan positif), dan Neutron (partikel netral yang mempunyai massa sedikit lebih besar dari pada massa proton).

Ion adalah sebuah atom atau lebih dari satu atom yang memiliki muatan total positif atau netto, total proton yang bermuatan positif pada inti dari suatu atom tetap sama selama berlangsungnya perubahan kimia atau disebut *Reaksi Kimia*. Akan tetapi elektron yang bermuatan negatif bisa hilang atau bertambah, atom netral yang kehilangan satu atau lebih elektronnya akan menghasilkan *Kation (ion bermuatan*

positif) sedangkan adanya kenaikan jumlah elektron disebut *Anion* (*ion bermuatan negatif*).

Persamaan reaksi kimia dapat ditulis dengan dua cara, pertama persamaan perkataan yang menyatakan nama pereaksi dan nama hasil reaksi, kedua persamaan simbol untuk suatu singkatan dalam menguraikan reaksi kimia. Penulisan reaksi kimia memiliki aspek kuantitatif dan aspek kualitatif. Aspek kuantitatif digunakan untuk menyetarakan koefisien pereaksi dan hasil reaksi dengan cara jumlah massa sebelum reaksi sama dengan massa sesudah reaksi. Aspek kualitatif diperlukan untuk memberi simbol atau tanda sifat fisik dari pereaksi dan hasil reaksi (Rahayu, 2009). Gambar 3.2 merupakan ilustrasi persamaan reaksi kimia oksidasi terhadap unsur *asphaltenes* (Llanos et al, 2018).

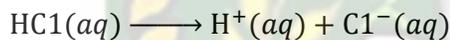


Gambar 3.2 Ilustrasi Persamaan Reaksi Kimia Oksidasi *Asphaltenes* (Llanos et al, 2018)

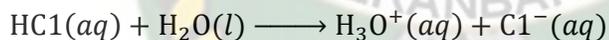
Gambar 3.2 ilustrasi persamaan reaksi kimia oksidasi *asphaltenes*. Unsur kimia *asphaltenes* terdiri dari rantai alkil (R) yang merupakan unsur pembentuk utamanya yaitu karbon (C), hidrogen (H), nitrogen (N) dan sulfur (S). Senyawa *asphaltenes* bereaksi dengan unsur oksigen (O) mengakibatkan hilangnya rantai alkil dan nitrogen. Sehingga unsur aromatik menjadi keton dan unsur sulfur menjadi sulfoksida yang mengakibatkan bertambahnya unsur oksigen (O) pada *asphaltenes*.

3.8 Unsur Asam

Chang (2005) *Asam (Acid)* merupakan zat yang menghasilkan suatu ion hidrogen dengan simbol (H^+) ketika dilarutkan dalam air. Rumus untuk asam tersusun atas satu atau lebih atom hidrogen dan sebuah gugus anion. Contoh HCl dapat disebut sebagai hidrogen klorida dan asam klorida, penamaan ini tergantung pada wujud fisiknya. HCl dapat disebut hidrogen klorida ketika berwujud gas, ketika berwujud cair (dilarutkan dalam air) molekul HCl terurai menjadi ion H^+ dan Cl^- sehingga disebut asam klorida. Chang (2005) kimiawan Swedia Svante Arrhenius menjabarkan sebagai berikut.

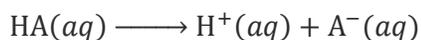


Sedangkan menurut kimiawan Denmark Johannes Brønsted, asam merupakan zat yang mampu memberikan proton dan basa zat yang mampu menerima proton. Chang (2005) ionisasi asam klorida di jabarkan oleh Brønsted sebagai berikut.



A. Asam Kuat

Asam kuat ialah senyawa asam yang dalam larutannya terion seluruhnya menjadi ion – ionnya. Reaksi ionisasi asam kuat merupakan reaksi berkesudahan. Ionisasi asam kuat dinyatakan dalam bentuk berikut.

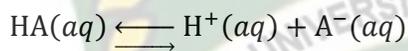


Tetapan ionisasi asam (K_a) merupakan nilai suatu ukuran kuantitatif kekuatan asam dalam pelarut tertentu dalam hal ini merupakan air. Nilai tetapan ionisasi asam

diatas 1 dikategorikan sebagai asam kuat yang mana asam hampir seluruhnya terionisasi.

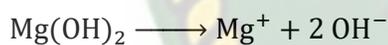
B. Asam Lemah

Asam lemah ialah senyawa asam yang dalam larutannya hanya sedikit terionisasi menjadi ion – ionnya. Reaksi ionisasi asam lemah merupakan reaksi kesetimbangan. Ionisasi asam lemah dinyatakan dalam bentuk berikut.

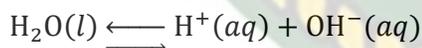


3.9 Unsur Basah

Chang (2005) mendefinisikan *Basa (Base)* adalah suatu zat yang menghasilkan ion hidroksida (*OH*) saat dilarutkan dalam air. Basa merupakan senyawa yang bisa beraksi dengan asam sehingga menghasilkan senyawa yang disebut garam. Basa merupakan zat-zat yang dapat menetralkan asam. Berdasarkan kimia basa dan asam saling berlawanan, pada umumnya basa bersifat rasa pahit dan licin. Reaksi magnesium hidroksida dalam air terionisasi sebagai berikut.



Persamaan Ionisasi air dinyatakan dalam bentuk berikut.



A. Basa Kuat

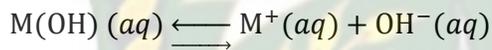
Basa kuat dipengaruhi oleh banyaknya ion – ion *OH* yang dihasilkan dari senyawa basa dalam larutannya, reaksi ionisasi basa kuat merupakan reaksi berkesudahan. Kekuatan basa berbanding terbalik dengan kekuatan asam konjugatnya apabila asam makin lemah, basa konjugatnya makin kuat dan begitu

sebaliknya. K_b (Tetapan ionisasi basa) merupakan ukuran kekuatan basa, ionisasi basa kuat pada hidroksida logam $M(OH)_x$ dalam air dinyatakan dalam.



B. Basa Lemah

Basa lemah ialah senyawa basa yang dalam larutannya hanya sedikit terionisasi menjadi ion – ionnya. Reaksi ionisasi basa lemah merupakan reaksi kesetimbangan. Ionisasi basa lemah dinyatakan dalam bentuk berikut.



3.10 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) untuk menentukan tingkat derajat keasaman suatu larutan *Soren Lautiz Sorensen* tahun 1910 memperkenalkan suatu bilangan yang dikenal dengan skala pH. Nilai pH berkisar antara 1 sampai 14. Larutan bersifat netral jika $(H^+) = (OH^-)$ atau $pH = pOH = 7$, Larutan bersifat asam jika $(H^+) > (OH^-)$ atau $pH < 7$, dan larutan bersifat basa jika $(H^+) < (OH^-)$ atau $pH > 7$ (gurupendidikan.com, 2019).

3.11 Klasifikasi dan Karakteristik Gambut

Hartatik dkk (2004) pembentukan gambut diakibatkan endapan bahan organik pada tanah gambut sehingga jumlah kandungan karbon sangat besar. Tanah gambut Indonesia memiliki fraksi organik sebesar 95% dan 5% merupakan fraksi anorganik. Fraksi organik terdiri dari senyawa humat sebesar 10% sampai 20% dan sebagian besar senyawa non humat yang terdiri dari lignin, hemiselulosa, selulosa, resin dan protein lainnya. Widjaya-Adhi (1995) menyatakan klasifikasi lahan rawa

berdasarkan jenis dan kondisi fisio-kimia tanahnya, klasifikasi berdasarkan empat tipologi lahan utama yaitu lahan sulfat, masam potensial, lahan sulfat masam aktual, lahan gambut dan lahan salin lihat Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.6 Tipologi Lahan Pasang Surut Berdasarkan Jenis dan Sifat Fisika Kimia Tanah (Widjaya Adhi, 1995)

Tipologi Lahan	Nama Lama	Kedalaman Pirit/Ketebalan Gambut (cm)
Aluvial bersulfida dangkal	Sulfat masam potensial	< 50
Aluvial bersulfida dalam	Lahan potensial	50 - 100
Aluvial bersulfida sangat dalam	Lahan potensial	> 100
Aluvial bersulfat-1	Sulfat masam	< 100
Aluvial bersulfat-2	Sulfat masam	< 100
Aluvial bersulfat-3	Sulfat masam	> 100
Lahan Sallin	Lahan salin	0 - 50 (bahan sulfidik)
Aluvial bersulfida gambut	Lahan bergambut	< 50
Gambut dangkal	Gambut dangkal	50 - 100
Gambut sedang	Gambut sedang	100 - 200
Gambut dalam	Gambut dalam	200 - 300
Gambut sangat dalam	Gambut sangat dalam	> 300

Pada Tabel 3.6 menjelaskan tipologi lahan diklasifikasikan menjadi 4 golongan dengan total uraian menjadi 14 tipologi lahan. Tipologi lahan berkaitan dengan kedalaman pirit/ketebalan gambut. Tipologi lahan salin merupakan tipologi yang mempunyai ketebalan gambut terendah, sedangkan tipologi gambut sangat dalam mempunyai ketebalan paling dalam yaitu besar dari 300 cm. Karakteristik fisik secara umum ekosistem rawa terdiri dari hutan rawa payau, hutan rawa gambut, hutan rawa air tawar, sungai, muara, dan sistem pesisir laut. Ekosistem tersebut dipengaruhi oleh beberapa kondisi yang meliputi kondisi air, muka air, tanah, drainase dan penampakan lainnya lihat Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Karakteristik Fisik Ekosistem Rawa (Widjaya Adhi, 1995)

Ekosistem	Lokasi	Kondisi Air	Muka Air	Tanah	Drainase	Penampakan lain
Hutan Rawa Payau	Pesisir	Asin/Payau, kaya mineral	Tinggi, tergenang selama pasang	Tanah, hanya sedimen muda	-	Tanah relatif kaya mineral (laut dan aluvial), oksigen terlarut rendah
Hutan Rawa Gambut	Darat	Tawar, miskin hara	Tinggi, tergenang selama musim hujan	Gambut oligotrofik dan tebal	Buruk	Tanah sangat asam (pH: 3-4,5), kandungan hara rendah, konsentrasi oksigen terlarut rendah
Hutan Rawa Air Tawat	Darat	Relatif tawar, kaya mineral	Tinggi, tergenang selama musim hujan	Eutrofik/aluvial	Buruk	Tidak masam (pH: 6), tanah relatif subur, gambut mungkin ada (<50cm)
Sungai	Memotong daerah	Tawar, miskin	Bervariasi tergantung musim	Sedimen sungai	-	Perbedaan kondisi air antara sungai gambut dan sungai kaya sedimen
Muara	Pesisir	Payau, kaya mineral	Bervariasi tergantung musim, hamparan lumpur pasang surut	Sedimen sungai dan laut	-	Hamparan lumpur semi pasang surut mengering adanya surut, tingkat hara tinggi, proses dinamis pencampuran air asin dan tawar
Sistem Pesisir Laut	Pesisir	Asin, kaya mineral	Air	Sedimen laut dan sungai	-	Kondisi laut, turbiditas tinggi

Tabel 3.7 merupakan karakteristik fisik ekosistem rawa terbagi menjadi enam ekosistem. Ekosistem hutan rawa payau, muara, dan sistem pesisir laut banyak dijumpai pada lokasi pesisir dengan kondisi air berupa asin dan kaya mineral. Sedangkan ekosistem hutan rawa gambut dan hutan rawa air tawar banyak dijumpai pada lokasi darat dengan kondisi air tawar dan kaya mineral. Untuk ekosistem sungai dijumpai pada lokasi pemisah antara daerah atau pemotong daerah dengan kondisi air tawar dan sedikit hara.

Andriess (1988) *Water holding Capacity* (daya tambat air) atas dasar berat kering bahan gambut sangat tinggi. Kapasitas mengikat air maksimum untuk gambut fibrik 850-3000%, gambut hemik 450-850%, dan gambut saprik < 450%. Nugroho (1987) kandungan air untuk gambut terusan Sumatera Barat berkisar antara 200 sampai 800% dengan kandungan air tersedia tinggi hingga sangat tinggi.

Taher dkk (1991) menjelaskan rawa gambut lunak di Sumatera Barat mencapai 126.000 Ha. Ketebalan gambutnya bervariasi mulai dari < 1 m sampai > 7 m. Tanahnya bersifat masam, pH (H₂O) berkisar 3,5 – 5,0 dan kandungan C-organiknya 18-40 persen.

Barchia (2012) menyatakan bahwa tingginya kemasaman tanah gambut disebabkan oleh tingginya kandungan asam-asam fenolat yang dihasilkan dari dekomposisi bahan organik yang banyak mengandung lignin (zat kayu). Tingginya kemasaman tanah ini disebabkan oleh tingginya kandungan asam-asam organik yaitu asam humat dan asam fulvat. Tapak pertukaran tanah gambut yang mendominasi oleh ion hidrogen menyebabkan pH tanah rendah. pH < 4 merupakan pH yang asam hingga sangat asam. Karakteristik kimia gambut terdiri dari 18 unsur

kimia yang terkandung di dalam gambut. Tabel 3.8 karakteristik kimia gambut Kalimantan Tengah dan Sumatera Selatan.

Tabel 3.8 Karakteristik Kimia Gambut Kalimantan Tengah dan Sumatera Selatan (Barchia, 2012)

Karakteristik Gambut	Kalimantan Tengah	Sumatera Selatan
pH (H ₂ O)	2.27	3.20
N-total (%)	1.82	0.41
Bahan organik (%)	57.23	54.60
P tersedia (ppm)	14.29	18.11
KTK (me 100 g ⁻¹)	110.00	101.69
Ca (me 100 g ⁻¹)	2.50	7.88
Mg (me 100 g ⁻¹)	0.53	3.25
K (me 100 g ⁻¹)	0.20	0.25
Na (me 100 g ⁻¹)	1.88	0.69
Kejenuhan basa (%)	4.65	11.88
Unsur mikro (ppm)		
Cu	0.50	0.28
Zn	1.60	0.27
Mn	1.40	0.46
Fe	8.90	2.98
Senyawa organik (%)		
Lignin	78.70	57.45
Selulosa	14.30	22.20
Protein	2.20	12.45
Kadar abu (%)	0.94	5.10

Pada Tabel 3.8 karakteristik kimia gambut Kalimantan Tengah dan Sumatera Selatan. pH Kalimantan Tengah sebesar 2,27 kecil dari pH Sumatera Selatan. Unsur kimia N-total, bahan organik, KTK, Na, Cu, Zn, Mn, Fe, dan lignin Kalimantan Tengah mempunyai nilai yang lebih besar dari pada daerah Sumatera Selatan. Sebaliknya nilai unsur kimia pada P tersedia, Ca, Mg, K, kejenuhan basa, selulosa, protein, dan kadar abu Sumatera Selatan lebih besar dari pada Kalimantan Tengah.

3.12 Penuaan (*Aging*) Campuran Aspal

Wiyono (2009) penuaan aspal terjadi akibat bersentuhan dengan udara, aspal akan menjadi keras sejalan dengan bertambahnya umur dan akan mudah mengalami retak. Ketika aspal menjadi rapuh (*brittle*) maka aspal tidak akan mampu menahan regangan dan akhirnya akan mengalami kerusakan retak. Kecepatan terjadinya pengerasan aspal tergantung pada ketahanan terhadap oksidasi yang dipengaruhi oleh komposisi kimia dan sumber minyak mentah, suhu serta tebal selaput aspal.

Lesueur (2008) penuaan fisik merupakan penjelasan dari peningkatan viskositas tanpa modifikasi kimia dari unsur pokok. Penuaan kimia adalah hal yang sangat penting dan rumit, hal ini berhubungan dengan *oxidation*, *cyclization*, dan reaksi *aromatization*.

Sifat fisik dan kimia dari aspal akan berubah seiring waktu yang disebabkan pengaruh berbagai kondisi lingkungan dilapangan selama masa pelayanan, sejak tahun 1930-an penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan sebuah pemahaman dari mekanisme kontribusi untuk *short-term* dan *long-term aging* (Welborn, 1979). Petersen (1984) menjelaskan ada tiga faktor utama penyebab pengerasan dari aspal dalam campuran aspal yaitu sebagai berikut.

1. Hilangnya komponen oil dari *volatility* atau *absorption* (penyerapan),
2. Perubahan dalam komposisi dari reaksi dengan *atmospheric oxygen*, dan
3. Struktur molekul yang menghasilkan efek *thixotropic effects* (*steric hardening*).

Penuaan aspal pada properti atau material fisik dalam perubahan aspal seiring waktu berlalu disebabkan adanya perubahan komposisi kimia didalam aspal,

perubahan ini dihasilkan karena adanya interaksi dari dalam dan luar yang terkait dengan variabel dari penuaan *short-term* dan *long-term*. Mekanisme penuaan terdiri dari *volatilisation*, *oxidation*, dan *steric hardening*. *Volatilisation* dan *oxidation* dihasilkan oleh perubahan dalam struktur molekul aspal sedangkan *steric hardening* merupakan hasil dari penyusunan kembali (reorganisasi) molekul. Penuaan aspal juga dikenal sebagai usia pengerasan yang menggambarkan pengerasan aspal (Bell, 1989).

Mekanisme yang menyebabkan penuaan bahan pengikat terkait dengan *oxidation*, *volatilization*, *thixotropy* (or *steric hardening*), *polymerization* disebabkan oleh *actinic light*, dan kondensasi *polymerization* disebabkan oleh panas. Diantara penyebab tersebut *oxidation*, *volatilization*, dan *steric hardening* dianggap mekanisme penyebab utama terkait dengan proses penuaan dari campuran aspal (Bell, 1994). Berikut ini merupakan penjelasan mengenai *oxidation*, *volatilization* dan *steric hardening* :

1. *Oxidation* (Oksidasi)

Oksidasi adalah suatu proses yang tidak dapat diubah reaksi kimia dengan molekul oksigen dan komponen jenis aspal curah akan menghasilkan perubahan signifikan ke fisik aspal atau mekanisme sifat dari aspal. Oksidasi penuaan dari aspal diyakini disebabkan oleh generasi dari oksigen yang mengandung *polar chemical* fungsi dari molekul aspal yang dapat menyebabkan gumpalan antara molekul, disebabkan meningkatnya kumpulan *chemophysical* seperti *hydrogen bonding* (ikatan hidrogen), *van der waals force*, dan *coulomb force* (Branthaver et al, 1993).

2. *Volatilization* (Penguapan)

Traxler (1961) penguapan merupakan hal yang penting, hal ini dapat terjadi selama pencampuran pemanasan dan konstruksi dari semen aspal pada suhu yang tinggi. Besar molekul cahaya dapat menguapkan dan melepaskan kedalam atmosfer atau udara. Hal ini mungkin lebih signifikan dalam pengolahan bahan pengikat aspal modifikasi yang mana mirip dengan minyak senyawa dan dapat berevaporasi dari aspal. Ketika film aspal tipis dicampur atau masuk kedalam agregat pada temperatur 150°C atau lebih tinggi, fraksi *aromatic* dengan cepat evaporasi dan fraksi *asphaltene* umumnya meningkat antara 1 dan 4% (Farcas, 1996).

3. *Steric hardening* (Pengerasan Sterik)

Pengerasan sterik biasanya juga dikenal sebagai pengerasan fisik, terjadi seiring waktu ketika semen aspal terkena temperatur rendah. Pada proses ini, struktur molekul dari aspal ditataulang atau berubah. Hal demikian mempengaruhi fraksi *asphaltene* (Masson et al, 2005). Konsekuensi dari pengerasan sterik meningkatkan viskositas, volume kontraksi sedikit, dan pada akhirnya terjadi pengerasan dari aspal (Pechenyi dan Kuznetsov, 1990). Pengerasan sterik lebih jelas terjadi pada saat temperatur mendekati 0°C dan harus diperhatikan pada saat pengujian aspal sangat rendah temperatur, pada pengerasan ini menghasilkan penataan ulang atau perubahan struktur dari molekul sangat rendah temperatur (Petersen, 1984).

Li et. al (1995) proses penuaan campuran aspal merupakan salah satu faktor seperti sifat mudah menguap, oksidasi dan kekakuan dari campuran aspal. Penuaan ini menghasilkan peningkatan modulus elastis dan kerapuhan dari campuran aspal.

Meningkatnya modulus elastis dapat meningkatkan sistem distribusi beban dari struktur perkerasan, peningkatan kerapuhan akan menyebabkan kerusakan seperti *cracking* dan menurunnya *durability* akibat pengaruh air dan proses penguapan bitumen. Penuaan dari bahan pengikat aspal yang mengarah kepada kerusakan sebelum waktunya pada perkerasan dikarenakan adanya perubahan perilaku reologi dan perubahan didalam komposisi bahan pengikat (Farcas, 1996).

Brown dan Scholz (2000) menjelaskan pada umumnya penuaan terbagi kedalam dua kategori berbeda yaitu jangka pendek (*short-term*) dan jangka panjang (*long-term*). Penuaan jangka pendek (*short-term*) terjadi pada pengerasan pengikat saat proses campuran sedang berlangsung atau waktu pasca konstruksi.

3.13 Uji Marshall

Oglesby dan Hicks (1996) Uji Marshall (*AASHTO T-245*) ialah pengujian yang berbentuk silindris dengan diameter 10,16 cm dan panjang 3,81 cm pada proporsi kontrol suhu 140°F (60°C) yang ditempatkan didalam kedua sisi baja pengapit sampel campuran aspal dan dibebani dengan kecepatan pembebanan 2 in/menit. Kestabilan diukur sebagai beban maksimum yang menyebabkan deformasi pada bentuk uji atau disebut nilai aliran yang merupakan deformasi sampel segera setelah di capai beban maksimum. Adapun kriteria untuk campuran yang memenuhi syarat pada beban yang berat adalah kestabilan dengan nilai minimum 750 lb, aliran (*flow*) berkisar antara 0,08 in-0,16 in, dan nilai persentase rongga udara dalam campuran berkisar 3%-5%. Uji marshall dapat mengukur tahanan friksi dan kohesif dalam bentuk kombinasi.

Sukirman (2016) Pengujian kinerja beton aspal *solid* dapat dilakukan melalui pengujian Marshall, yang pertama kali dikembangkan oleh Bruce Marshall dan diteruskan oleh U.S Corps Engineer. Peralatan Marshall dilengkapi dengan cincin penguji (*proving ring*) dengan kapasitas 22,2 KN atau 5000 lbf dan *flowmeter*. Alat ini dapat menentukan nilai stabilitas dan keelehan (*flow*) serta parameter lainnya dapat ditentukan dengan cara penimbangan benda uji dan perhitungan. Pengujian Marshall bertujuan untuk merancang campuran beton aspal, untuk sistem penjaminan mutu campuran, dan sebagai proses penentuan karakteristik beton aspal. Secara garis besar tujuan pengujian Marshall adalah sebagai berikut.

1. Pembuatan benda uji,
2. Pengujian berat jenis bulk benda uji,
3. Pengujian nilai stabilitas dan *flow*, dan
4. Perhitungan sifat volumetik benda uji.

3.14 Persyaratan Material Campuran Beton Aspal

Standar Nasional Indonesia (SNI) (1989) Menjelaskan bahwa pembuatan Lapis Aspal Beton (Laston) dimaksudkan untuk memperoleh suatu lapisan permukaan atau lapis antara pada perkerasan jalan raya yang mampu memberikan daya dukung yang terukur dan kuat terhadap beban lalu lintas serta berfungsi sebagai lapisan kedap air yang dapat melindungi konstruksi di bawah lapis aspal beton. Sebagai lapis permukaan perkerasan aspal (AC-WC), lapis beton aspal harus dapat memberikan kenyamanan dan keamanan. Proses pembuatan lapis aspal beton dimulai dari penyiapan bahan, pencampuran, pengangkutan, penghamparan serta

pemadatan yang benar-benar terkendali sehingga dapat diperoleh lapisan yang memenuhi persyaratan.

3.14.1 Persyaratan Aspal

Beton aspal merupakan material termoplastis dan viskoelastik, pada temperatur tertentu memiliki sifat kemampuan aspal dalam mengikat agregat sehingga dihasilkan ikatan yang kuat antara agregat dengan aspal (adhesi) serta kemampuan aspal untuk tetap mempertahankan ikatan aspal dengan aspal yang melekat pada agregat sehingga tetap di tempatnya (kohesi). Sehingga dapat memberikan daya ikat yang kuat terhadap agregat dan memberikan fungsi lapisan yang kedap air. Karena material aspal merupakan material yang memiliki unsur atau sifat yang sangat kompleks maka diperlukan pengujian terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai material perkerasan jalan.

Durabilitas atau daya tahan aspal disebut kemampuan aspal mempertahankan sifat aslinya akibat pengaruh cuaca atau perubahan temperatur selama masa pelayanan aspal. Oleh karena itu, aspal yang baik yaitu aspal yang tidak mudah menjadi rapuh dan kehilangan sifat plastisnya akibat perubahan temperatur. Sifat-sifat tersebut dapat diperkirakan dengan melakukan pengujian sebagai berikut :

1. Pengujian Penetrasi, adalah uji parameter penunjuk konsistensi aspal secara empiris dengan menunjukkan nilai kekerasan aspal. Nilai penetrasi merupakan kedalaman jarum yang diberi beban masuk ke dalam sampel aspal selama 5 detik dan dilakukan pada temperatur 25°C dilakukan pembacaan pada arloji pengukur, dalam satuan 0,1 mm. Misalkan penetrasi aspal dipakai 60 maka, kedalaman jarum beserta beban sedalam 60 x 0,1 mm yaitu 6 mm. SNI

(2456:2011) memberikan syarat bahwa nilai penetrasi rata-rata sekurang-kurangnya dari tiga kali pengujian yang nilainya tidak berbeda lebih dari yang disyaratkan.

2. Pengujian Daktilitas Aspal adalah uji yang dilakukan secara tidak langsung untuk menunjukkan sifat adhesi dan kohesi aspal. Pengujian dilakukan dengan mencetak aspal dalam cetakan dan meletakkan benda uji kedalam tempat pengujian yang berisi cairan dengan berat jenis yang mendekati berat jenis aspal. Nilai daktilitas aspal merupakan panjang benda uji aspal ketika putus pada saat dilakukan penarikan dengan kecepatan 5cm/menit.
3. Pengujian Viskositas adalah uji parameter kekentalan aspal, semakin tinggi temperatur maka nilai viskosisas semakin rendah karena aspal semakin encer. Viskositas absolut diuji dengan menggunakan *vacum capilarity viscometers* pada temperatur 60°C sedangkan viskositas kinematik diukur pada temperatur 135°C (SNI 06-6441-2000).

Kepekaan aspal terhadap temperatur akan menjadi dasar perbedaan umum aspal untuk menjadi retak atau mengeras. Parameter pengukur kepekaan aspal terhadap temperatur adalah indeks penetrasi (*penetration index*). Nilai IP antara -1 dan +1 adalah nilai IP yang umum dimiliki oleh aspal yang digunakan untuk material perkerasan jalan (Sukirman, 2016). Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas (2008) kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur dapat diketahui dengan jelas bila sifat aspal dinyatakan dalam Indeks Penetrasinya (IP). Nilai IP aspal berkisar antara -3 sampai +7 Aspal dengan IP yang tinggi akan memiliki ketahanan terhadap deformasi yang tinggi pula.

Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi III memberikan ketentuan-ketentuan peraturan dalam metoda pengujian serta jenis-jenis pengujian yang akan dilakukan untuk menentukan sifat-sifat atau karakteristik aspal keras sebelum dilakukan pembuatan beton aspal lihat Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Ketentuan-Ketentuan untuk Aspal Keras (Bina Marga, 2010)

Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen.60-70
Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60 - 70
Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s)	SNI 06-6441-2000	160 - 240
Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	SNI-06-6441-2000	≥ 300
Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
Kelaurutan Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-03	≥ 99
Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0
Stabilitas Penyimpanan; Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976 part 6.1	-
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002):		
Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8
Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s)	SNI 03-6441-2000	≤ 800
Penetrasi pada 25°C (%)	SNI 06-2456-1991	≥ 54
Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
Keelastisan setelah Pengembalian (%)	AASHTO T 301-98	-

Pada Tabel 3.9 merupakan spesifikasi ketentuan – ketentuan untuk aspal keras tipe I aspal penetrasi 60 – 70 yang terdiri dari 15 jenis pengujian dengan metode pengujian SNI, AASHTO, dan ASTM D5976. Nilai penetrasi pada 25°C (0,1 mm) sebesar 60 sampai 70, nilai titik nyala sebesar ≥ 232°C, nilai berat jenis aspal sebesar ≥ 1,0%, dan pengujian residu hasil TFOT untuk nilai penetrasi pada 25°C sebesar ≥ 54.

3.14.2 Persyaratan Agregat

Kemampuan perkerasan jalan dalam memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca dipengaruhi oleh faktor sifat agregat. Sifat agregat dalam menentukan kualitasnya sebagai material perkerasan jalan terdiri dari gradasi, kebersihan, kekerasan dan ketahanan agregat, bentuk tekstur permukaan, porositas, kemampuan untuk menyerap air, berat jenis, dan daya ikat aspal dengan agregat.

Gradasi merupakan susunan butir agregat sesuai dengan ukurannya, merupakan sifat yang sangat besar pengaruhnya terhadap kualitas perkerasan jalan. Ukuran butiran agregat dalam pencampurannya dengan aspal terdistribusi dari yang berukuran besar sampai ke yang kecil sesuai pengujian analisa saringan dalam menentukan ukuran agregat. Campuran agregat bergradasi baik mempunyai rongga sedikit, mudah dipadatkan, dan mempunyai stabilitas tinggi. Berdasarkan ukuran butiran agregat yang dominan dalam penyusunan campuran agregat terbagi atas agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (filler). Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi III menjelaskan ketentuan-ketentuan ukuran butiran agregat untuk perkerasan jalan sebagai berikut.

1. Agregat halus yang diperoleh dari sumber bahan manapun harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No.4 (4,75 mm). Fraksi agregat halus hasil pecahan dari mesin dan pasir harus ditempatkan terpisah dari agregat kasar. Pasir alam dapat digunakan dalam campuran AC asalkan tidak melampaui 15% terhadap berat total campuran. Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung,

atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Batu pecah halus harus diperoleh dari batu yang memenuhi ketentuan persyaratan umum yaitu dalam pemilihan sumber agregat harus memperhitungkan penyerapan aspal oleh agregat, penyerapan air oleh agregat maksimum 3%, dan berat jenis (*specific gravity*) agregat kasar dan halus tidak boleh berbeda lebih dari 0,2. Tabel 3.10 persyaratan ketentuan-ketentuan dalam memenuhi karakteristik agregat halus untuk campuran perkerasan jalan terdiri dari pengujian nilai setara pasir, angularitas, gumpalan lempung dan agregat lolos ayakan No.200.

Tabel 3.10 Ketentuan Untuk Agregat Halus (Bina Marga, 2010)

Pengujian	Standar	Nilai
- Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min.60%
- Angularitas dengan Uji Kadar Rongga	SNI 03-6877-2002	Min.45
- Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks.1%
- Agregat Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117:2012	Maks.10%

Tabel 3.10 merupakan spesifikasi ketentuan agregat halus berdasarkan 4 pengujian yaitu nilai setara pasir minimal sebesar 60%, angularitas dengan uji kadar rongga minimal sebesar 45, gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat maksimal sebesar 1%, dan agregat lolos ayakan no.200 maksimal sebesar 10%.

2. Agregat kasar adalah fraksi agregat kasar dalam rancangan campuran yang tertahan ayakan No.4 (4,75 mm) proses ini dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan yang disyaratkan lihat Tabel.3.11.

Tabel 3.11 Ketentuan Untuk Agregat Kasar (Bina Marga, 2010)

Pengujian		Standar	Nilai
Kekakuan bentuk agregat terhadap larutan	natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks.12%
	magnesium sulfat		Maks.8%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC	SNI 2417:2008	Maks.6%
	Modifikasi		Maks.30%
	Semua jenis campuran aspal bergradasi		Maks.8%
			Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min.95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar		SNI 7619:2012	95/90 (*)
Partikel Pipih dan Lonjong		ASTM D4791 Perbandingan 1 : 5	Maks.10%
Material lolos Ayakan No.200		SNI 03-4142-1996	Maks.2%

Keterangan : (*) = 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

Tabel 3.11 merupakan spesifikasi ketentuan agregat kasar berdasarkan 5 pengujian yaitu nilai kekelan bentuk agregat terhadap larutan, abrasi agregat dengan mesin Los Angeles, kelekatan agregat terhadap aspal, butir pecah pada agregat kasar, partikel pipih dan lonjong, dan material lolos ayakan no.200. standar pengujian menggunakan SNI dan ASTM dengan ketentuan nilai batasan maksimal dan minimal pada masing-masing pengujian. Fraksi agregat kasar harus dari batu pecah mesin dan disiapkan dalam ukuran nominal sesuai dengan jenis campuran yang direncanakan seperti ketentuan yang disyaratkan pada Tabel 3.12. agregat kasar harus mempunyai angularitas seperti yang disyaratkan dalam Tabel 3.11, angularitas merupakan persentase terhadap berat agregat yang lebih besar dari 4,75 mm dengan muka bidang pecah satu atau lebih. Fraksi agregat kasar harus ditumpuk terpisah dan harus dipasok ke

instalasi pencampur aspal dengan menggunakan pemasok penampung dingin (*cold bin feeds*) sedemikian rupa sehingga gradasi gabungan agregat dapat dikendalikan dengan baik.

Tabel 3.12 Ukuran Nominal Agregat Kasar Penampung Dingin untuk Campuran Aspal (Bina Marga, 2010)

Jenis Campuran	Ukuran nominal agregat kasar penampung dingin (<i>cold bin</i>) minimum yang diperlukan (mm)			
	5 - 10	10 - 14	14 - 22	22 - 30
Laston Lapis Aus	Ya	Ya		
Laston Lapis Antara	Ya	Ya	Ya	
Laston Lapis Pondasi	Ya	Ya	Ya	Ya

Tabel 3.12 merupakan ukuran nominal agregat kasar penampung dingin untuk campuran aspal dengan tiga jenis campuran yaitu laston lapis aus, laston lapis antara, dan laston lapis pondasi. Ukuran nominal agregat kasar penampung dingin (*cold bin*) sebesar 5 mm sampai 30 mm. laston lapis aus memiliki ukuran sebesar 5 mm sampai 14 mm.

3. Bahan Pengisi (*Filler*), terdiri dari debu batu kapur (*limestone dust, calcium carbonate, CaCO₃*) atau debu kapur padam yang sesuai dengan ketentuan AASHTO M303-89 (2006). Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan analisa penyaringan atau pengayakan sesuai SNI ASTM C136:2012 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No.200 (75 micron) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya kecuali untuk mineral asbuton Asbuton. Mineral Asbuton harus mengandung bahan yang lolos ayakan No.100 (150 micron) tidak kurang dari 95% terhadap beratnya. Semua campuran beraspal harus mengandung bahan pengisi yang

ditambahkan (*filler added*) min.1% dari berat total agregat. Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi sesuai dengan ketentuan rancangan dan perbandingan campuran untuk gradasi agregat gabungan harus mempunyai jarak terhadap batas-batas persyaratan pada Tabel 3.13. fungsi dari bahan pengisi (*filler*) untuk mendapatkan campuran yang padat, berdaya tahan yang tinggi dan kedap air. Oleh karna itu apabila bahan pengisi digunakan secara berlebih atau kurang maka akan menyebabkan campuran terlalu kering atau basah.

Tabel 3.13 Gradasi Agregat Gabungan Campuran Aspal (Bina Marga, 2010)

Ukuran ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat dalam Campuran		
	Laston (AC)		
	WC	BC	Base
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

Tabel 3.13 merupakan spesifikasi ketentuan gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal berupa laston atau AC-WC, AC-BC, dan AC Base. Ukuran

ayakan terdiri dari 12 ukuran dengan nilai persen berat lolos terhadap total agregat dalam campuran pada masing – masing jenis lapis perkerasan laston. Jenis lapis perkerasan AC-WC ukuran ayakan 37,5 mm sebesar 100%, ayakan 12,5 mm sebesar 90% sampai 100%, ayakan 2,36 mm sebesar 33% sampai 53%, ayakan 0,300 mm sebesar 9% sampai 22%, dan ayakan 0,075 mm sebesar 4% sampai 9%.

3.15 Pengujian Marshall

Campuran beraspal merupakan suatu kombinasi campuran antara agregat dan aspal. Fungsi dari aspal sebagai bahan pengikat atau lem antar butiran agregat dan agregat berperan sebagai tulang. Sifat-sifat mekanis aspal dalam campuran beraspal diperoleh dari friksi dan kohesi dari bahan-bahan pembentuknya. Friksi agregat diperoleh dari ikatan antar butir agregat (interlocking), dan kekuatannya tergantung pada gradasi, tekstur permukaan, bentuk butiran dan ukuran agregat maksimum yang digunakan. Sehingga diperlukan perencanaan campuran beraspal agar diperoleh mutu perkerasan yang tinggi dan dapat melayani beban hidup diatas perkerasan selama masa pelayanan yang telah ditentukan atau direncanakan. Pd. No.025/T/BM/1999 Dirjen Bina Marga menjelaskan bahwa pembuatan rancangan kadar aspal optimum (P_b) dilakukan sebelum benda uji dibuat, hal ini harus sesuai dengan ketentuan spesifikasi yaitu benda uji *Marshall Test* diambil dua kadar aspal di atas nilai P_b dan dua kadar aspal di bawah nilai P_b dengan variasi tingkat kenaikan 0,5% dan masing-masing benda uji di tumbuk sebanyak 2 x 75 tumbukan dengan rumus rancangan kadar aspal optimum (P_b) sesuai Persamaan 3.1.

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

Dimana : P_b = kadar aspal rancangan (%),
 Ca = agregat kasar tertahan saringan No.8 (2,36 mm),
 FA = agregat halus lolos saringan No.8 (2,36 mm) dan tertahan saringan No.200 (75 μ m),
 FF = agregat halus lolos saringan No.200 (75 μ m), dan
 K = nilai konstanta sekitar 0,5 – 1,0 untuk laston dan 2,0 – 3,0 untuk campuran laston.

Metode Marshall didasarkan pada prosedur pengujian ASTM D 1559-76, Metode Marshall standar digunakan untuk perencanaan campuran beton aspal (laston) dengan ukuran agregat maksimum 25 mm dan menggunakan aspal keras sebagai bahan pengikat. Ukuran benda uji yang digunakan adalah tinggi 64 mm dengan diameter 102 mm dengan tahapan pemanasan, pencampuran dan pemadatan campuran agregat dengan aspal. Prinsip dasar dari metode Marshall adalah untuk menentukan uji stabilitas dan kelelahan (*flow*) serta menentukan analisa kepadatan dan rongga dalam campuran padat (uji volumetrik).

3.15.1. Pengujian Stabilitas dan Kelelahan (*flow*)

Pengujian stabilitas dan kelelahan (*flow*) dilaksanakan setelah dilakukan pengujian berat jenis bulk. Pengujian stabilitas berguna untuk menentukan daya tahan benda uji terhadap pengaruh beban sedangkan *flowmeter* berguna untuk mengukur besarnya kelelahan yang terjadi diakibatkan oleh beban. Prosedur pengujian dilakukan berdasarkan SNI 06-2489-1991 dengan cara :

1. Benda uji di rendem pada temperatur 60°C (140°F) selama 30 hingga 40 menit sebelum dilakukan pengujian.
2. Lakukan pengeringan pada permukaan benda uji dan letakkan benda uji pada alat Marshall.

3. Dial pembacaan stabilitas dan kelelahan di atur dan lakukan pengujian dengan kecepatan deformasi secara konstan sebesar 51 mm/menit (2 inci/menit) sampai terjadi keruntuhan.
4. Baca dial dan catat besarnya stabilitas dan kelelahan yang terjadi.

Kelelahan yang terjadi pada saat itu merupakan nilai kelelahan (*flow*) yang dibaca pada *flowmeter* dalam satuan 1 unit = 0,01 mm, sedangkan nilai stabilitas merupakan nilai dial yang dibaca dikalikan dengan nilai kalibrasi proving ring dan dikoreksi dengan angka koreksi akibat variasi ketinggian benda uji. Rasio korelasi stabilitas berdasarkan ketebalan benda uji dapat dihitung berdasarkan pada Persamaan 3.2.

$$O = n \times \text{koreksi benda uji} \quad (3.2)$$

Dimana : O = Nilai stabilitas,
 n = $m \times$ kalibrasi *proving ring* (kg), dan
 m = Nilai pembacaan arloji stabilitas.

3.15.2. Pengujian Volumetrik

Sifat dari benda uji campuran beton aspal panas (sifat volumetrik) ditentukan berdasarkan analisa rongga kepadatan yaitu berat isi dan atau berat jenis benda uji padat, rongga dalam agregat mineral (VMA), dan rongga udara dalam campuran padat (VIM).

Void in the Mineral Aggregate (VMA) adalah volume rongga di dalam beton aspal padat apabila selimut aspal dihilangkan, jika selimut aspal tebal dan digunakan gradasi agregat terbuka maka VMA akan meningkat. Definisi lainnya yaitu volume rongga dalam campuran yang tidak terisi agregat dan aspal yang terserap agregat.

Void in Mix (VIM) adalah volume rongga yang masih tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan, fungsi VIM untuk tempat bergesernya butir-butir agregat akibat pemadatan tambahan yang dikarenakan beban berulang lalu lintas dan tempat aspal meleleh apabila temperatur udara meningkat. VIM terlalu besar akan mengakibatkan kurangnya kedekatan dari beton aspal, hal ini akan mengakibatkan oksidasi aspal cepat terjadi sehingga aspal lebih cepat mengalami penuaan dan berdampak terhadap durabilitas beton aspal. Jika VIM terlalu kecil akan mengakibatkan terjadinya *bleeding* pada beton aspal ketika meningkatnya temperatur udara.

Volume of voids Filled with Asphalt (VFA) adalah Volume rongga antara agregat dari beton aspal padat yang terisi oleh aspal yang biasa disebut selimut aspal atau volume film.

Analisa prosedur dalam menentukan volumetrik beton aspal dapat dilakukan sesuai ketentuan – ketentuan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi III serta nilai karakteristik campuran beton aspal dan formula pada persamaan-persamaan berikut.

1. Kepadatan (*density*)

Kepadatan merupakan berat campuran yang diukur tiap satuan volume. Nilai kepadatan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kadar aspal dan kekentalan aspal. Nilai kepadatan dapat dihitung berdasarkan Persamaan 3.3.

$$\text{Kepadatan (density)} = \frac{W_{mp}}{\frac{W_{mssd}}{\gamma_w} - \frac{W_{mw}}{\gamma_w}} = G_{mb} \times \gamma_w \quad (3.3)$$

Dimana : G_{mb} = Berat volume benda uji (gr/cc),
 W_{mp} = Berat kering benda uji sebelum direndam air (gram),
 W_{mssd} = Berat benda uji dalam keadaan jenuh air (gram),

W_{mw} = Berat benda uji dalam air (gram), dan
 γ_w = Berat volume air (gr/cc).

2. Berat Jenis Curah Agregat (*Bulk Specific Gravities of Aggregate*)

Jumlah total agregat terdiri dari beberapa fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (filler). Masing-masing memiliki berat jenis yang berbeda-beda, berat jenis curah agregat dapat dihitung berdasarkan Persamaan 3.4.

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad (3.4)$$

Dimana : G_{sb} = Berat jenis curah total agregat,
 P_1, P_2, P_3 = Persentase masing-masing agregat (%), dan
 G_1, G_2, G_n = Berat jenis curah masing-masing agregat.

Berat jenis curah bahan pengisi (*filler*) sukar ditentukan secara akurat, akan tetapi dengan menggunakan berat jenis semu kesalahan umumnya kecil dan dapat diabaikan.

3. Berat Jenis Semu Agregat (*Apparent Specific Gravity of Aggregate*)

Berat jenis semu adalah campuran berbagai fraksi agregat yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*) dapat dihitung berdasarkan Persamaan 3.5.

$$G_{sa} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{1a}} + \frac{P_2}{G_{2a}} + \dots + \frac{P_n}{G_{na}}} \quad (3.5)$$

Dimana : G_{sa} = Berat jenis semu total agregat,
 P_1, P_2, P_n = Persentase masing-masing agregat (%), dan
 G_{1a}, G_{2a}, G_{na} = Berat jenis semu masing-masing agregat

4. Berat Jenis Efektif Agregat (*Effective Specific Gravity of Aggregate*)

Berat jenis efektif agregat (*Effective Specific Gravity of Aggregate*), berdasarkan berat jenis maksimum campuran (G_{mm}) kecuali rongga dalam

partikel agregat yang menyerap aspal, dapat ditentukan berdasarkan Persamaan 3.6.

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \quad (3.6)$$

Dimana : G_{se} = Berat jenis efektif agregat,
 G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran teoritis setelah pemadatan yang didapat setelah uji vakum,
 P_{mm} = Persentase berat total campuran = 100%,
 P_b = Kadar aspal, persentase terhadap berat total campuran, dan
 G_b = Berat jenis aspal.

5. Berat Jenis Maksimum Teoritis Campuran dengan perbedaan Kadar aspal

Berat jenis maksimum teoritis diperlukan untuk menghitung rongga udara pada masing-masing kadar aspal, berat jenis maksimum campuran dapat dihitung berdasarkan Persamaan 3.7.

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad (3.7)$$

Dimana : G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran, rongga udara kosong
 P_{mm} = Persentase dari berat total campuran = 100%,
 P_s = Kadar agregat, persentase berat total campuran,
 P_b = Kadar aspal, persentase berat total campuran,
 G_{se} = Berat jenis efektif agregat, dan
 G_b = Berat jenis aspal.

6. Penyerapan Aspal

Penyerapan aspal dapat dinyatakan dalam persen berat agregat, bukan terhadap berat total campuran beton aspal, penyerapan aspal dapat dihitung berdasarkan Persamaan 3.8.

$$P_{ba} = 100 \times \left(\frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} \times G_{sb}} \right) \times G_b \quad (3.8)$$

Dimana : P_{ba} = Penyerapan aspal dalam persen berat total agregat,
 G_{sb} = Berat jenis efektif agregat,

G_{se} = Berat jenis efektif curah agregat, dan
 G_b = Berat jenis aspal.

7. Kadar aspal efektif campuran

Kadar aspal efektif campuran merupakan kadar aspal total dikurangi jumlah aspal yang meresap kedalam pori-pori agregat. Kadar aspal efektif berfungsi untuk menentukan besarnya luasan aspal dalam menyelimuti agregat yang tujuan akan menentukan kekuatan aspal dalam mengikat agregat, formula kadar aspal efektif campuran dapat dihitung berdasarkan Persamaan 3.9.

$$P_{be} = P_b - \left(\frac{P_{ba}}{100}\right) \times P_s \quad (3.9)$$

Dimana : P_{be} = Kadar aspal efektif, persen terhadap berat total campuran,
 P_b = Kadar aspal total, persen terhadap berat total campuran,
 P_{ba} = Penyerapan aspal, persen terhadap berat total agregat, dan
 P_s = Persen agregat terhadap berat total campuran.

8. *Void in the Mineral Aggregate* (VMA)

Rongga dalam mineral agregat (VMA) merupakan volume rongga di antara butiran-butiran agregat campuran beton aspal padat termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif atau termasuk yang diisi oleh aspal. Formula perhitungan VMA berdasarkan berat jenis curah agregat dan dinyatakan sebagai persentase dari berat jenis curah campuran padat dengan Persamaan 3.10.

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \quad (3.10)$$

Dimana : VMA = Rongga dalam mineral agregat, persentase volume curah campuran,
 G_{mb} = Berat jenis curah agregat campuran padat,
 P_s = Persen agregat terhadap berat total campuran, dan
 G_{sb} = Berat jenis curah campuran padat.

9. Rongga udara di dalam campuran padat (VIM)

Rongga udara dalam campuran padat (VIM) terdiri atas ruang-ruang udara di antara partikel agregat terselimuti aspal atau volume rongga dalam beton aspal padat. Persamaan 3.11 untuk menentukan nilai volume rongga udara campuran padat.

$$VIM = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \quad (3.11)$$

Dimana : VIM = Rongga udara di dalam beton aspal padat, persen terhadap volume curah beton aspal,
 G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran dalam keadaan rongga udara kosong/belum dipadatkan, dan
 G_{mb} = Berat jenis curah beton aspal padat.

10. Rongga udara terisi aspal (VFA)

Rongga udara terisi aspal (VFA) merupakan persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang terserap oleh pori-pori butiran agregat. Aspal yang mengisi VFA adalah aspal yang berfungsi menyelimuti agregat dalam beton aspal padat disebut selimut aspal atau film. Persamaan 3.12 untuk menentukan nilai VFA.

$$VFA = 100 \times \frac{(VMA - V)}{VMA} \quad (3.12)$$

Dimana : VFA = Rongga udara antar agregat terisi aspal, persen terhadap VMA,
 VMA = Rongga di antara mineral agregat, persen terhadap volume curah campuran/beton aspal, dan
 VIM = Rongga udara di dalam campuran padat, persen terhadap volume total campuran/beton aspal.

11. *Marshall Quotient* (MQ)

Marshall Quotient (MQ) diperuntukkan untuk mengetahui kekakuan campuran beton aspal. Nilai MQ merupakan perbandingan nilai stabilitas Marshall dibagi

nilai kelelahan Marshall, formula untuk menentukan nilai volume rongga udara dapat dihitung berdasarkan Persamaan 3.13.

$$MQ = \frac{MS}{MF} \quad (3.13)$$

Dimana : MS = Stabilitas Marshall, dalam kg, dan
 MF = Kelelahan Marshall, dalam mm.

Karakteristik hasil *Marshall Test* benda uji dapat ditentukan kadar aspal optimum (KAO) beton aspal dengan menggunakan metode *narrow range*, yang mengambil nilai tengah dari semua *range* kadar aspal yang menggambarkan hubungan antara kadar aspal rancangan dengan nilai setiap parameter karakteristik hasil Uji Marshall yang memenuhi persyaratan pada spesifikasi.

3.16 Pengujian Durabilitas

SNI M-58-1990 merupakan prosedur dalam pengujian durabilitas campuran beton aspal. Perbandingan stabilitas Marshall standar dengan stabilitas Marshall rendaman yang dinyatakan dalam satuan persen dan dinamakan Indeks Stabilitas Sisa (IRS) atau Indeks Kekuatan Sisa (IKS). Persamaan 3.14 untuk menentukan nilai IRS.

$$IRS = \frac{M_{si}}{MS_s} \quad (3.14)$$

Dimana : IRS = Indeks Stabilitas Sisa (%),
 M_{si} = Nilai Stabilitas Marshall setelah perendaman 24 jam pada suhu ruang $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ (kg), dan
 MS_s = Nilai Stabilitas Marshall standar pada perendaman selama 30 menit pada suhu $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ (kg).

Nilai IRS minimum 75% merupakan ketentuan persyaratan Bina Marga bahwa nilai tersebut menyatakan campuran aspal masih dianggap cukup tahan terhadap kerusakan yang disebabkan oleh pengaruh air.

1. Indeks Durabilitas Pertama

Indeks Durabilitas Pertama diartikan sebagai jumlah kelandaian yang berurutan dari kurva keawetan, adapun formula yang digunakan sesuai Persamaan 3.15.

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_i - S_{i+1}}{t_{i+1} - t_i} \quad (3.15)$$

Dimana : r = Nilai penurunan kekuatan (%) pada indeks durabilitas pertama,
 S_i = Persen kekuatan yang tersisa pada waktu t_i ,
 S_{i+1} = Persen kekuatan yang tersisa pada waktu t_{i+1} , dan
 t_i, t_{i+1} = Waktu perendaman (mulai dari awal pengujian).

Sedangkan nilai absolut (mutlak) dari kehilangan kekuatan yang disebut dengan (R) dinyatakan sesuai Persamaan 3.16.

$$R = \frac{r}{100} \times S_0 \quad (3.16)$$

Dimana : R = Nilai absolut ekuivalen kehilangan kekuatan (kg) pada indeks durabilitas pertama,
 r = Nilai penurunan kekuatan (%) pada indeks durabilitas pertama, dan
 S_0 = Nilai absolut dari kekuatan awal (kg).

2. Indeks Durabilitas Kedua

Indeks Durabilitas Kedua diartikan sebagai luas kehilangan kekuatan rata-rata antara kurva keawetan dengan garis $S_0 = 100\%$ dinyatakan sesuai dengan Persamaan 3.17.

$$a = \frac{1}{t_n} \sum_{i=0}^n a_i = \frac{1}{2t_n} (S_i - S_{i+1}) [2t_n - (t_i + t_{i+1})] \quad (3.17)$$

Dimana : a = Nilai penurunan kekuatan (%) pada indeks durabilitas kedua,
 S_i = Persen kekuatan yang tersisa pada waktu t_i ,
 S_{i+1} = Persen kekuatan yang tersisa pada waktu t_{i+1} , dan
 t_n, t_i, t_{i+1} = waktu perendaman (mulai dari awal pengujian).

Nilai positif a menunjukkan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai negatif sebagai peningkatan kekuatan. Menurut artinya, $a < 100$. Karena itu, memungkinkan untuk menyatakan persentase kekuatan sisa satu hari 'Sa' yang dapat dihitung sesuai Persamaan 3.18.

$$Sa = (100 - a) \quad (3.18)$$

Dimana : Sa = Persen kekuatan yang tersisa dari indeks durabilitas kedua,
dan
 a = Nilai penurunan kekuatan (%) pada indeks dutabilitas kedua.

3.17 Pengujian Penuaan Aspal (*Aging*)

Bell (1989) menjelaskan bahwa ada dua komponen dari penuaan yang dipertimbangkan yaitu *short term* dan *long term*. Komponen *short term* terjadi selama tahapan konstruksi saat masa campuran aspal panas, dikarenakan *volatilization* (penguapan) dan *steric hardening* (pengerasan sterik) menyebabkan oksidasi serta penguapan dari hasil teroksidasi. Komponen *long term* terjadi saat campuran jadi perkerasan atau kondisi padat lapangan. Jangka waktu selama 10 tahun merupakan periode yang masuk akal menjadi perhatian pada komponen ini. Penuaan jangka panjang secara dominan disebabkan oleh oksidasi serta penguapan dari hasil oksidasi dan pengerasan sterik. Cahaya aktinik (sinar ultraviolet dari matahari) dapat mempercepat penuaan permukaan perkerasan.

Strategic Highway Research Program (SHRP) Project A-003A. Pada metode pengujian *Long – Term Oven Aging (LTOA)* dilakukan proses pemanasan oven dilaboratorium selama 5 hari paling banyak sesuai tata cara penuaan pada material padat dengan temperatur 85°C (185°F). Setelah waktu penuaan, matikan oven dan

biarkan dingin sesuai temperatur ruangan. Keluarkan sampel dari oven dan diuji tidak kurang dari 24 Jam.

3.18 Pengujian Cantabro

Suparman (2001) pengujian Cantabro dilakukan untuk mengetahui kemampuan campuran untuk menahan beban lalu lintas yang berkerja diatas perkerasan, pembebanan yang berlangsung secara terus menerus menyebabkan lapisan perkerasan jalan penurunan kekuatan. Oleh karna itu dilakukan pengujian kekuatan campuran terhadap gaya impact atau abrasi, yang bertujuan untuk menentukan kehilangan Cantabro yaitu persentase hilangnya berat setelah dilakukan 300 kali putaran dengan berat awal benda uji. Persentase kehilangan berat yang diperbolehkan tidak lebih dari 25% dengan suhu 25°C.

Watson et al (2003) pengujian abrasi Cantabro adalah digunakan dalam desain dari campuran gradasi terbuka untuk menilai durabilitas. Pada test ini digunakan bahan yang dipadatkan ditempatkan di dalam mesin *Los Angeles Abrasion* dan dilakukan 300 kali putaran pada benda uji dalam suhu ruangan tanpa diisi bola-bola baja. Berat benda uji yang hilang dinyatakan dalam persentase dari berat benda uji aslinya yang digunakan dalam mengukur perlawanan dari campuran gradasi terbuka terhadap kehilangan agregat. Doyle dan Howard (2014) menjelaskan sebuah pembaharuan dalam pengujian Cantabro yang digunakan gradasi padat aspal beton, menunjukkan pengujian Cantabro menjadi peka terhadap *VBE (Volume of Binder)*, *air voids*, *binder grade*, *RAP content*, dan *laboratory conditioning*.

European Standard Draft Test Method PrEN 12697 – 17 menyatakan bawah pengujian Cantabro dilakukan untuk menguji kekuatan dari spesimen campuran (*hotmix*) terhadap gaya impact atau abrasi dengan menggunakan mesin tes abrasi *Los angeles* tanpa menggunakan bola-bola baja. Spesimen padat dimasukkan kedalam mesin *Los Angeles Abrasion* dan dilakukan pengujian selama 300 kali putaran. Nilai Cantabro diperoleh dari perbandingan berat semula sampel dan berat setelah 300 kali putaran yang dinyatakan dalam satuan persentase. Persentase kehilangan tidak lebih dari 25% pada temperatur 25°C. Gaya impact diumpakan sebagai pembebanan akibat beban roda lalu lintas pada perkerasan beton aspal.

Texas Department Of Transportation Designation: Tex-245-F menjelaskan metode pengujian Cantabro yaitu menentukan abrasi yang hilang dari campuran aspal panas (HMA). Metode pengujian ini mengukur kerusakan dari spesimen padat menggunakan mesin *Los Angeles Abrasion* persentase dari berat yang hilang (*Cantabro Loss*) adalah indikasi dari durabilitas dan berhubungan dengan kuantitas dan kualitas dari bahan pengikat aspal. Persamaan 3.19 menentukan nilai Cantabro.

$$CL = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad (3.19)$$

Dimana : CL = Cantabro Loss (%),
 A = Berat awal dari spesimen uji, dan
 B = Berat akhir dari spesimen uji.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Metode penelitian dilakukan dengan menggunakan campuran beton aspal (AC-WC) yang telah dipadatkan. Beton aspal di oven selama 5 hari dengan menggunakan prosedur penuaan secara progresif atau penuaan jangka panjang (*Long – Term Oven Aging (LTOA)*). Pengujian LTOA dimaksudkan untuk mensimulasikan proses penuaan akibat oksidasi terhadap *volatilization* (penguapan) dan *steric hardening* (pengerasan sterik).

Setelah dilakukan proses penuaan akibat oksidasi, beton aspal direndam dengan menggunakan air gambut, air mineral, dan air hujan. Proses perendaman beton aspal dilakukan selama 0, 1, 2, 4, dan 7 hari. Proses ini dilakukan untuk mengidentifikasi pengaruh penuaan akibat air khususnya pada air gambut dan dua variabel pembanding air mineral dan hujan.

Beton aspal yang telah mengalami penuaan dilakukan pengujian Cantabro, yang dimaksudkan untuk melihat persentase kehilangan berat campuran beton aspal dan dilakukan pengujian Marshall untuk melihat nilai durabilitas dan stabilitas dari benda uji Cantabro yang direndam terutama pada air gambut serta unsur dari pengaruh penuaan terhadap air. Adapun lokasi penelitian dilakukan di laboratorium Fakultas Teknik Universitas Islam Riau Program Studi Teknik Sipil, Pekanbaru – Riau.

4.2 Bahan Penelitian

Bahan penelitian terdiri dari aspal, agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*). Air rendaman beton aspal digunakan air gambut, air mineral, dan air hujan yang diperoleh dari beberapa sumber lokasi material diantaranya sebagai berikut.

1. Aspal produksi pertamina penetrasi 60/70 berasal dari Laboratorium Teknik Sipil UIR sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi III,
2. Agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*) berasal dari daerah Candi Muara Takus, Kabupaten Kampar, Provinsi Riau di Produksi Oleh PT. Riau Mas Bersauda, dan
3. Air rendaman yang digunakan ada 3 jenis yaitu :
 - a. Air gambut berasal dari Kecamatan Langgam, Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau,
 - b. Air Mineral berupa merek Aqua yang diproduksi oleh PT.Tirta Investama, dan
 - c. Air Hujan berasal dari Hujan di Kota Pekanbaru, Provinsi Riau.

4.3 Peralatan Penelitian

Peralatan penelitian digunakan alat-alat uji yang ada di dalam Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Islam Riau Program Studi Teknik Sipil, Pekanbaru – Riau. Peralatan terdiri dari peralatan pemeriksaan campuran beton aspal, peralatan pembuatan benda uji, peralatan alat uji Marshall, dan peralatan uji Cantabro. Sedangkan untuk pengujian unsur kimia air dilakukan di Dinas Kesehatan

Laboratorium Penguji UPT Laboratorium Kesehatan dan Lingkungan Pemerintah Provinsi Riau. Adapun alat uji yang akan digunakan sebagai berikut.

1. Peralatan pemeriksaan campuran beton aspal

Peralatan yang digunakan untuk pemeriksaan agregat dalam penelitian ini diantaranya alat satu set saringan : 50,8 mm (2"); 19,1 mm (3/4"); 12,5 mm (1/2"); 9,5 mm (3/8"); No.4 (4,75 mm); No.8 (2,36 mm); No.16 (1,18 mm); No.30 (0,600 mm); No.50 (0,300 mm); No.100 (0,150 mm); No.200 (0,075 mm), mesin pengguncang saringan, talam-talam, kuas, untuk pengujian analisis saringan agregat kasar dan halus, alat (timbangan kapasitas 1 kg, piknometer, kerucut terpancung, batang penumbuk, oven, air suling, bak perendam dan desikator) untuk pengujian berat jenis dan penyerapan agregat.

2. Peralatan pembuatan benda uji

a. Peralatan pembuatan benda uji untuk metode Marshall sebagai berikut :

- i. Wadah untuk pencetakan benda uji dengan ukuran diameter 10,16 cm (4 inci) dengan tinggi 7,62 cm (3 inci) yang dilengkapi dengan plat alas dan leher sambungan.
- ii. Alat penumbuk permukaan tumbuk datar yang berbentuk silinder dengan berat 4,536 kg (10 pound) dan tinggi jatuh bebas 45,7 cm.
- iii. Landasan pematat terdiri dari balok kayu dengan ukuran 20,32 x 20,32 x 45,72 cm (8 x 8 x 18 inci) dengan ukuran lapisan pelat baja 30,48 x 30,48 x 2,54 cm (12 x 12 x 1 inci) dan diikat pada lantai beton dengan empat bagian siku.

- iv. Alat ekstruder dengan diameter 10 cm atau *ejector* untuk mengeluarkan benda uji padat dari dalam cetakan.
 - v. Timbangan yang dilengkapi dengan penggantung benda uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gram dan timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gram.
 - vi. Bak perendam, oven, termometer, panci-panci untuk campuran beton aspal, sendok pengaduk, kompor pemanas (*hot plate*), sarung tangan dan pelindung pernapasan.
- b. Peralatan pembuatan benda uji untuk LTOA
Peralatan benda uji untuk LTOA sama dengan peralatan pembuatan benda uji Marshall, adapun alat tambahan berupa cawan/pan.
3. Peralatan Uji Unsur Kimia Air
Peralatan pengujian unsur kimia air berupa air gambut, air hujan, dan air mineral. Pengujian dilakukan di Dinas Kesehatan Laboratorium Penguji UPT Laboratorium Kesehatan dan Lingkungan Pemerintah Provinsi Riau.
 4. Alat Uji Marshall
Peralatan uji Marshall (*Marshall test*) lengkap sebagai berikut :
 - a. Alat kepala penekan (*breaking head*) dengan bentuk lengkung.
 - b. Alat cincin penguji (*proving ring*) dengan kapasitas 2500 kg (5000 pound) yang dilengkapi dengan arloji (*dial*) tekan dengan ketelitian 0,0025 mm.
 - c. Arloji pengukur aliran (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm (0,01 inci).
 5. Alat Uji Cantabro
Peralatan uji Cantabro (*Cantabro Test*) dengan gaya *Impact* sebagai berikut :

- a. Mesin abarasi *Los Angeles* tanpa menggunakan bola-bola baja.
- b. Timbangan yang berkapasitas 2 kg dengan akurasi ketelitian 0,1 gr.

4.4 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian terdiri dari persiapan alat dan bahan uji, perancangan campuran benda uji, pembuatan campuran benda uji Marshall, pengujian usur kimia air, pengujian Cantabro, pengujian benda uji Cantabro menggunakan Marshall test, dan Analisa data pengujian. Secara singkat tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 bagan aliran penelitian.

1. Persiapan alat dan bahan uji

Tahap persiapan alat dan bahan uji diperlukan untuk saat memulai pengujian atau pembuatan benda uji sudah tersedia sehingga proses penelitian dapat berjalan sesuai dengan *timeschedule* yang telah direncanakan. Adapun bahan dan peralatan yang akan digunakan sesuai dengan penjelasan pada sub bab 4.2 dan 4.3.

2. Perancangan campuran benda uji

Perancangan campuran benda uji terdiri dari 4 pengujian yaitu gradasi agregat, berat jenis, kadar aspal, dan jumlah benda uji. Adapun penjelasannya sebagai berikut.

- a. Gradasi agregat

Gradasi agregat merupakan salah satu sifat untuk menentukan kinerja atau kekuatan struktur perkerasan jalan terhadap beban lalu lintas yang akan bekerja di atasnya. Campuran gradasi agregat dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*) yang memenuhi batasan-batasan yang diberikan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi III

lihat Tabel 3.13 pada Bab 3. Campuran gradasi agregat untuk penelitian ini adalah AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*) dengan menggunakan fraksi agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*). Setelah diperoleh komposisi rencana campuran agregat maka dapat dibuat gambar hubungan antara persen lolos saringan dan ukuran butir agregat dengan satuan skala logaritma.

b. Berat jenis

Berat jenis adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu disebut berat jenis. Berat jenis terbagi menjadi tiga yaitu berat jenis (*bulk specific gravity*), berat jenis permukaan jenuh (*effective specific gravity*), berat jenis semu (*apparent specific gravity*). Berat jenis dimaksudkan untuk perencanaan campuran agregat dan aspal yang berdasarkan perbandingan berat dan untuk menentukan nilai absorpsi atau kemampuan menyerap air. Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi III menetapkan nilai absorpsi maksimum 3%.

c. Kadar aspal

Rancangan kadar aspal optimum (P_b) dibuat terlebih dahulu untuk menjadi acuan dalam membuat benda uji Marshall agar diperoleh kadar aspal optimum sebagaimana telah dijelaskan pada Bab.3. Buat benda uji dengan variasi kadar aspal sebanyak 6 benda uji dengan ketentuan 2 benda uji dengan kadar aspal lebih kecil dari nilai P_b , 1 benda uji nilai P_b itu sendiri, dan 3 benda uji dengan

kadar aspal lebih besar diatas nilai P_b . Masing-masing benda uji memiliki perbedaan rentang nilai sebesar 0,5%.

d. Jumlah benda uji

Pembuatan jumlah benda uji yang akan dibuat pada penelitian ini sebanyak 60 buah benda uji, sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi III minimal 3 benda uji pada setiap variasi kadar aspal yang akan di uji lihat Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Jumlah Benda Uji (Hasil Analisis, 2020)

No.	Jenis Benda Uji	Jumlah Benda Uji
1.	Pengujian Desain Campuran Dengan Variasi Kadar Aspal	
	a. $P_b-1\%$	$3 \times 1 = 3$
	b. $P_b-0,5\%$	$3 \times 1 = 3$
	c. Kadar Aspal Rencana (P_b)	$3 \times 1 = 3$
	d. $P_b+0,5\%$	$3 \times 1 = 3$
	e. $P_b+1\%$	$3 \times 1 = 3$
2.	Pengujian Cantabro Dengan Benda Uji LTOA Rendaman Air Gambut	
	a. 0 hari	$3 \times 1 = 3$
	b. 1 hari	$3 \times 1 = 3$
	c. 2 hari	$3 \times 1 = 3$
	d. 4 hari	$3 \times 1 = 3$
	e. 7 hari	$3 \times 1 = 3$
3.	Pengujian Cantabro Dengan Benda Uji LTOA Rendaman Air Normal	
	a. 0 hari	$3 \times 1 = 3$
	b. 1 hari	$3 \times 1 = 3$
	c. 2 hari	$3 \times 1 = 3$
	d. 4 hari	$3 \times 1 = 3$
	e. 7 hari	$3 \times 1 = 3$
4.	Pengujian Cantabro Dengan Benda Uji LTOA Rendaman Air Hujan	
	a. 0 hari	$3 \times 1 = 3$
	b. 1 hari	$3 \times 1 = 3$
	c. 2 hari	$3 \times 1 = 3$
	d. 4 hari	$3 \times 1 = 3$
	e. 7 hari	$3 \times 1 = 3$
Total Benda Uji		60

Tabel 4.1 menunjukkan jumlah benda uji yang terdiri dari 60 benda uji dengan 4 jenis benda uji yaitu pengujian desain campuran dengan variasi kadar aspal sebesar 15 benda uji, pengujian Cantabro dengan benda uji LTOA rendaman air gambut sebesar 15 benda uji, pengujian Cantabro dengan benda uji LTOA rendaman air normal sebesar 15 benda uji, dan pengujian Cantabro dengan benda uji LTOA rendaman air hujan sebesar 15 benda uji.

3. Pembuatan campuran benda uji Marshall

Pembuatan campuran benda uji Marshall terdiri dari benda uji untuk kadar aspal optimum (KAO) dan benda uji untuk *Long Term Oven Aging* (LTOA) sebagai berikut.

a. Benda Uji Kadar Aspal Optimum (KAO)

Pembuatan rancangan campuran benda uji kadar aspal optimum pada pengujian Marshall (SNI 06-2489-1991) sesuai dengan ketentuan persyaratan spesifikasi, cara pembuatan benda uji sebagai berikut :

- i. Jumlah benda uji minimum tiga buah benda uji dengan masing-masing kombinasi agregat dan aspal.
- ii. Kombinasi agregat dan aspal, diperlukan agregat sebanyak ± 1200 gram tiap kombinasi benda uji.
- iii. Agregat dikeringkan dengan alat pengering (*oven/hot plate*) sampai dengan suhu 165°C , minimum 105°C - 110°C selama 4 jam. Pisahkan agregat ke dalam fraksi-fraksi yang ditentukan dengan cara penyaringan.
- iv. Aspal dipanaskan sampai mencapai tingkat kekentalan (*viscositas*), hal ini suhu berlaku untuk saat pencampuran dan pemadatan antara aspal dan

agregat dengan nilai suhu pada alat kinematik viscosimeter suhu pencampuran aspal padat (170 ± 20)°C dalam satuan cSt dan suhu pemadatan dalam aspal padat (280 ± 30)°C dalam satuan cSt.

- v. Campur agregat dan aspal sampai merata, masukkan campuran benda uji kedalam cetakan yang telah dibersihkan kemudian ditusuk-tusuk dengan spatula 15 kali bagian pinggir dan 10 kali bagian tengah lalu dipadatkan pada suhu 93,3°C-148,9°C dan lakukan penumbukan sebanyak 2x75 kali.
- vi. Setelah pemadatan benda uji dikeluarkan dari cetakan dan diletak diatas permukaan yang rata lalu didinginkan biarkan selama 24 jam pada suhu ruangan atau dilakukan pendinginan dengan cara menggunakan kipas angin.
- vii. Ukur ketinggian benda uji dengan alat ukur ketelitian 0,1 mm dengan cara pengukuran 3 sisi benda uji.
- viii. Ukur volumetrik benda uji dengan ditimbang dalam air untuk mendapatkan isi, kemudian dikeluarkan dari air lalu dilap hingga kering permukaan, dan timbang dalam kondisi jenuh kering permukaan.
- ix. Rendam benda uji ke dalam bak perendam (*waterbath*) selama 30 sampai 40 menit pada suhu tetap (60 ± 1)°C.
- x. Setelah proses perendaman keringkan benda uji dengan kain bersih, lakukan pengujian Marshall untuk menentukan nilai stabilitas (*stability*) dan kelelehan (*flow*).
- xi. Selanjutnya lakukan analisa rongga (*void*) dan kepadatan (*density*) seperti berat isi atau berat jenis benda uji padat (G_{mb}), rongga dalam agregat mineral (VMA), dan rongga udara dalam campuran padat (VIM).

b. Benda Uji *Long Term Oven Aging* (LTOA)

Pembuatan benda uji *Long Term Oven Aging* (LTOA) berdasarkan tatacara pelaksanaan pengujian oleh *Strategic Highway Research Program* (SHRP) *Project A-003A* adapun cara pembuatan benda uji sebagai berikut :

- i. Benda uji LTOA pada kadar aspal optimum yang telah dipadatkan dan memenuhi persyaratan prosedur pengujian digunakan untuk pengujian LTOA.
- ii. Lakukan pengovenan pada benda uji padat LTOA dengan suhu 85°C dengan durasi pengovenan sebanyak 5 hari.
- iii. Setelah proses waktu penuaan selesai, benda uji dapat disebut LTOA dan biarkan dingin sesuai temperatur ruangan. Keluarkan sampel dari oven dan lakukan pengujian tidak kurang dari 24 jam.

4. Pengujian Unsur Kimia Air

Pengujian unsur kimia air dimaksudkan untuk memperoleh kandungan kimia air terhadap pengaruh penuaan aspal terutama pada air gambut, air mineral dan air hujan. Adapun parameter yang dipakai terhadap pengujian unsur kimia air digunakan berdasarkan Tabel 3.8 pada Bab. 3. Hasil dari pengujian unsur kimia air nantinya akan dibandingkan terhadap hasil pengujian Cantabro dan Marshall test.

5. Pengujian Perendaman Benda Uji LTOA

Pengujian perendaman benda uji LTOA dilakukan dengan menggunakan air gambut, air hujan, dan air mineral. Proses perendaman dimaksudkan untuk mengidentifikasi pengaruh penuaan akibat rendaman air gambut serta air hujan dan air mineral sebagai variabel pembanding.

Durasi rendaman dilakukan 0, 1, 2, 4, dan 7 hari, pengambilan waktu rendaman untuk mengilustrasikan terjadinya genangan air pada saat 0 hari dimana beton aspal tidak mengalami genangan air dan saat durasi rendaman 7 hari diilustrasikan waktu maksimal beton aspal digenangi air.

6. Pengujian *Cantabro Loss*

Pengujian *Cantabro* dilakukan berdasarkan prosedur *Texas Department Of Transportation Designation: Tex-245-F* dengan menggunakan alat mesin *Los Angeles Abrasion* tanpa menggunakan bola-bola baja dan dilakukan proses pemutaran sebanyak 300 kali putaran adapun prosedurnya sebagai berikut.

- a. Benda uji yang telah melalui proses penuaan atau direndam dengan air gambut, mineral dan hujan selama durasi 0, 1, 2, 4, dan 7 hari sebelum dikeluarkan dari bak perendaman benda uji ditimbang di dalam air dan diangkat benda uji lalu dilap dan ditimbang dalam kondisi jenuh kering permukaan/*saturated surface dry weight (SSD)*.
- b. Lakukan pengujian *Cantabro Loss* dengan membersihkan terlebih dahulu wadah mesin *Los Angeles Abrasion* kemudian masuk benda uji kedalam mesin *Los Angeles Abrasion* dan tutup wadah mesin.
- c. Hidupkan mesin *Los Angeles Abrasion* lakukan pemutaran dengan kecepatan 30 hingga 33 rpm secara konstan selama 300 kali putaran. Setiap putaran per 50 kali putaran benda uji dikeluarkan lalu ditimbang dan selanjutnya masukkan benda uji ke mesin *Los Angeles Abrasion* lagi hingga 300 kali putaran. Setelah 300 kali putaran maka pengujian *Cantabro* selesai.

7. Pengujian Marshall benda uji *Cantabro*

Pengujian benda uji Cantabro menggunakan *Marshall Test* untuk menentukan nilai stabilitas (*stability*) dan kelelahan (*flow*) adapun prosedur penelitiannya sebagai berikut.

- a. Benda uji Cantabro ditimbang dalam air, kemudian di angkat dan di lap hingga kondisi kering permukaan, lalu ditimbang dalam kondisi jenuh kering permukaan/*saturated surface dry weight* (SSD).
- b. Rendam benda uji dalam bak perendam (*water bath*) selama 30 – 40 menit dengan suhu konstan $60^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$.
- c. Lakukan pembebanan pada mesin uji *Marshall* dengan kapasitas 2500 kg (5500 pound) pada kecepatan konstan 50 mm/menit sampai beban maksimum tercapai atau tekanan arloji jarum menurun maka catat nilai stabilitas (*stability*) dan kelelahan (*flow*), untuk nilai stabilitas lakukan koreksi nilai terhadap beban.

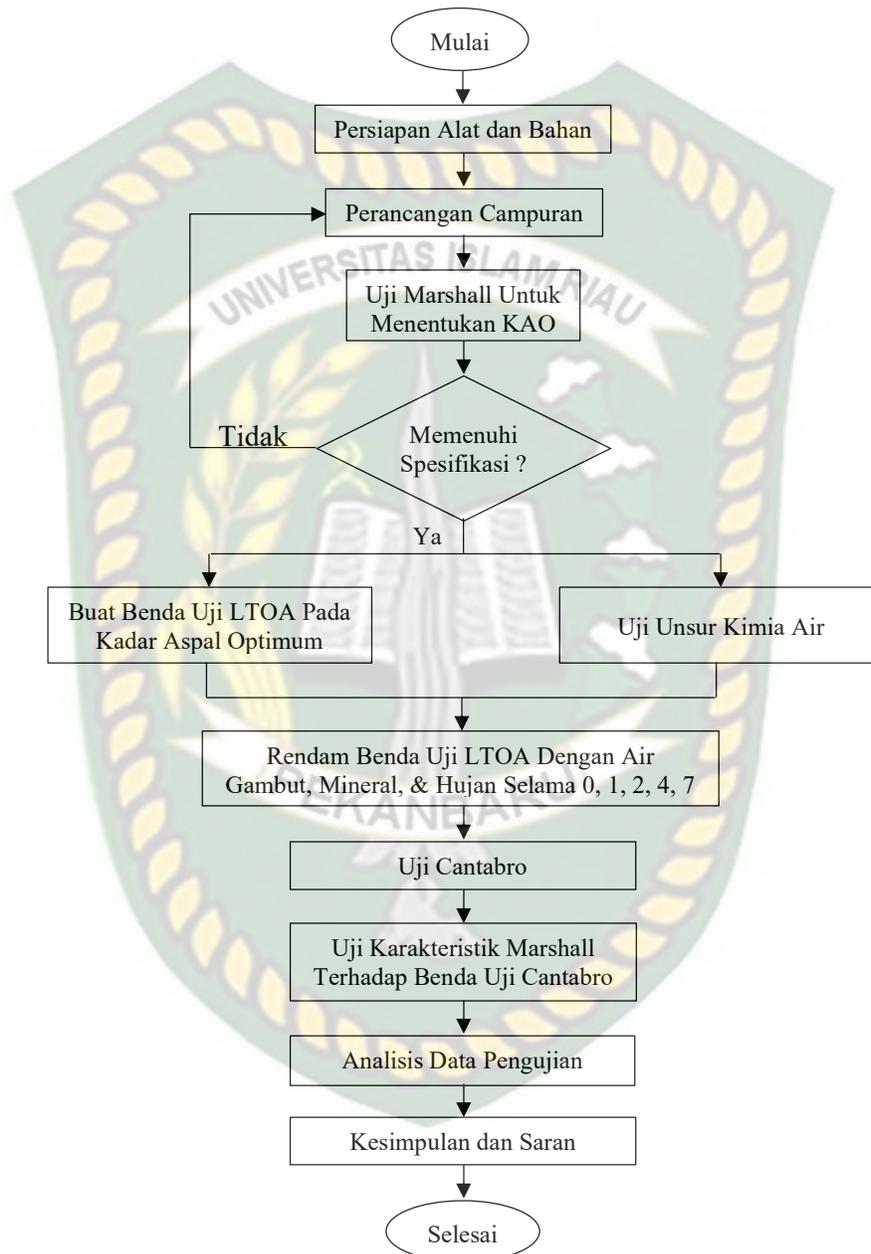
8. Analisis Data Pengujian

Analisis data pengujian dilakukan berdasarkan hasil pengujian penelitian sehingga diperoleh variabel tujuan penelitian yang akan diketahui dan dilakukan pembahasan mengenai hasil penelitian dibandingkan dengan penelitian terdahulu.

9. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan diperoleh berdasarkan hasil analisis data pengujian yang dimaksudkan sebagai jawaban dari hasil penelitian ataupun tujuan penelitian. Saran berkaitan dengan hasil dari penelitian atau kesimpulan yang berisi kekurangan dari penelitian, rekomendasi penelitian selanjutnya dan manfaat penelitian terhadap masyarakat.

Tahapan penelitian dalam bentuk bagan aliran (*flow chart*) penelitian pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Bagan Aliran Penelitian (Hasil Analisis, 2020)

4.5 Hipotesis

Provinsi Riau memiliki lahan gambut 3/4 dari luas wilayah Riau, dimana panjang perkerasan lentur 1483,32 km sehingga banyak di jumpai perkerasan lentur pada tanah gambut. Genangan air/gambut pada permukaan perkerasan lentur mempercepat disintegrasi dan menimbulkan kerusakan. Air dan udara dapat mengakibatkan terjadinya percepatan proses penuaan (*aging*) pada perkerasan lentur atau beton aspal sehingga nilai durabilitas beton aspal rendah.

Beton aspal tanpa terkontaminasi air atau digenangi air akan tetap mengalami penuaan. Akan tetapi genangan air diatas permukaan jalan secara berulang dapat mempercepat terjadinya penuaan pada perkerasan beton aspal sebelum masa layanan tercapai. Sebagaimana kita ketahui bahwa air merupakan faktor penyebab terjadinya kerusakan jalan, air dapat menurunkan sifat adesi aspal yaitu kemampuan aspal dalam mengikat agregat. Sehingga kemampuan aspal mempertahankan ikatan dengan agregat menjadi lemah atau disebut sifat kohesi aspal.

Indikasi tingkat keasaman atau unsur kimia pada air mempengaruhi proses terjadinya penuaan aspal secara cepat atau lambat. Air gambut lebih bersifat asam (*acid*) dari pada air hujan dan air mineral, sehingga proses penuaan beton aspal apabila direndam dengan air gambut lebih cepat terjadi dibandingkan air hujan dan air mineral. Oleh karena itu perlu adanya penelitian efek penuaan perkerasan aspal diakibatkan adanya genangan air gambut diatas permukaan perkerasan jalan aspal (AC-WC) dengan menggunakan metode *Strategic Highway Research Program* (SHRP) *Project A-003A* dan metode *Texas Department Of Transportation Designation: Tex-245-F*.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Perancangan campuran AC-WC atau beton aspal terdiri dari gabungan bahan material berupa aspal, agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*). Aspal yang digunakan merupakan produksi dari Pertamina dengan penetrasi 60/70 untuk agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*) berasal dari daerah Candi Muara Takus, Kabupaten Kampar, Provinsi Riau di Produksi Oleh PT. Riau Mas Bersaudara.

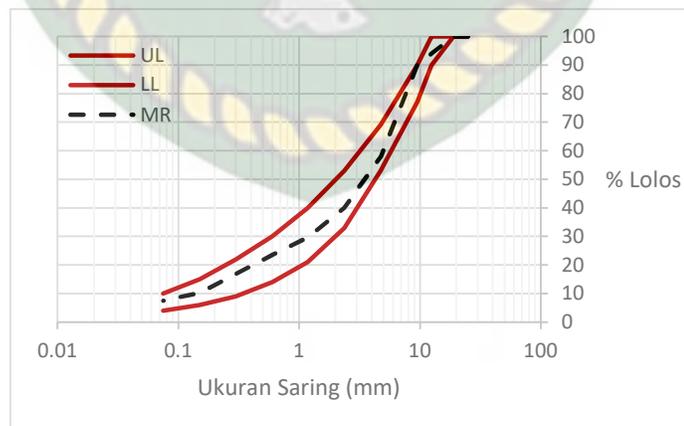
5.2 Hasil Uji Gradasi Agregat

Gradasi agregat merupakan susunan ukuran butiran agregat agar memperoleh campuran agregat bergradasi baik yang mempunyai rongga sedikit, mudah dipadatkan, dan mempunyai stabilitas tinggi. Gradasi agregat digunakan gradasi seragam (*uniform graded*) atau gradasi terbuka (*open graded*) dengan persentase agregat kasar lebih banyak dibandingkan agregat halus. Persentase agregat kasar sebesar 26,04%, agregat halus diperoleh 7,97%, dan persentase bahan pengisi sebesar 65,98%. Batasan gradasi digunakan untuk menentukan batas toleransi dan menyatakan bahwa agregat tergolong agregat kasar maupun halus. Batasan gradasi terdiri dari batas atas (UL), batas tengah (MR) dan batas bawah (LL), untuk batas atas (UL) dan batas bawah (LL) mengikuti ketentuan dari Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi III adapun nilai tengah (MR) diperoleh dengan cara pengujian analisa saringan. Hasil dari gradasi agregat dapat dilihat Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil Analisis Pengujian Gradasi Agregat (Hasil Analisis, 2020)

Ukuran Saringan (mm)	Pemakaian Agregat				Penetapan Gradasi			Batas
	CA	MA	FA	FS	UL	MR	LL	Spesifikasi
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
19	9,95	16,09	65,98	7,97	100	100	100	100
12,5	4,01	16,03	65,98	7,97	90	94	100	90-100
9,5	1,40	14,70	65,98	7,95	77	90	90	77-90
4,75	0,33	2,48	47,26	7,84	53	58	69	53-69
2,36	0,32	1,46	30,81	7,41	33	40	53	33-53
1.18	0,32	1,33	21,17	6,84	21	30	40	21-40
0,600	0,32	1,26	16,17	5,85	14	24	30	14-30
0,300	0,31	1,16	12,65	2,74	9	17	22	9-22
0,150	0,27	0,93	8,60	0,46	6	10	15	6-15
0,075	0,23	0,72	6,44	0,11	4	8	10	4-10

Tabel 5.1 hasil gradasi agregat memenuhi batas spesifikasi dengan pemakaian agregat berupa agregat kasar (CA), agregat sedang (MA), agregat halus (FA) dan pasir (FS). Pemakaian agregat tertinggi ukuran saringan 19 mm untuk CA sebesar 9,95%, MA sebesar 16.09%, FA sebesar 65,98%, dan FS sebesar 7,97%. Terendah saringan 0,075 mm, CA sebesar 0,23%, MA sebesar 0,72%, FA sebesar 6,44%, dan FS sebesar 0,11%. Sehingga dapat dibuat grafik gradasi agregat seperti Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Grafik Gradasi Agregat AC-WC (Hasil Analisis, 2020)

Gambar 5.1 menunjukkan grafik hasil gradasi agregat AC-WC yang merupakan perbandingan ukuran saringan dengan persen lolos saringan. Batasan spesifikasi gradasi agregat dinyatakan dengan batas atas (UL) dan batas bawah (LL). Apabila grafik terletak diatas batas atas (UL) agregat cenderung lebih halus begitu sebaliknya grafik yang terletak dibawah garis (LL) maka agregat cenderung kasar sehingga ikatan agregat (*interlocking*) tidak baik dan nilai stabilitas campuran rendah. Sehingga hasil dari pengujian gradasi diperoleh batas tengah (MR) dimana batasan ini menunjukkan pada grafik bergradasi seragam atau gradasi terbuka yang memenuhi persyaratan batas toleransi antara batas atas (UL) dan batas bawah (LL) sesuai ketentuan persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi III.

5.3 Hasil Uji Berat Jenis

Penetapan berat jenis merupakan hal yang penting dalam perencanaan campuran agregat dengan aspal sebab untuk menentukan perbandingan berat dan banyaknya pori yang terdapat pada agregat. Agregat dengan berat jenis kecil pada dasarnya akan mempunyai volume pori yang besar sehingga akan menyebabkan pemakaian aspal menjadi banyak. Berat jenis terbagi menjadi 3 yaitu berat jenis (*bulk specific gravity*), berat jenis permukaan jenuh (*effective specific grafitiy*), berat jenis semu (*apparent specific grafitiy*). Ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi III. Berat jenis semu disyaratkan sebesar $> 2,5$ gr/cc dan nilai penyerapan air (*Absorption*) < 3 %. Tabel 5.2 merupakan hasil analisis berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar, agregat medium, agregat halus, dan bahan pengisi/*filler*.

Tabel 5.2 Hasil Analisis Berat Jenis Agregat Kasar (Hasil Analisis, 2020)

Uraian	Hasil	Satuan	Spesifikasi
Analisis Berat Jenis Agregat Kasar			
Berat Jenis Kering (<i>Bulk</i>)	2,5	gr/cc	
Berat Jenis Jenuh Permukaan (<i>Effective</i>)	2,6	gr/cc	
Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	2,7	gr/cc	> 2,5
Penyerapan Air (<i>Absorption</i>)	2,1	%	< 3
Analisis Berat Jenis Agregat Medium			
Berat Jenis Kering (<i>Bulk</i>)	2,5	gr/cc	
Berat Jenis Jenuh Permukaan (<i>Effective</i>)	2,6	gr/cc	
Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	2,7	gr/cc	> 2,5
Penyerapan Air (<i>Absorption</i>)	3,1	%	< 3
Analisis Berat Jenis Agregat Halus (Pasir)			
Berat Jenis Kering (<i>Bulk</i>)	2,5	gr/cc	
Berat Jenis Jenuh Permukaan (<i>Effective</i>)	2,6	gr/cc	
Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	2,7	gr/cc	> 2,5
Penyerapan Air (<i>Absorption</i>)	1,9	%	< 3
Analisis Berat Jenis Bahan Pengisi/<i>Filler</i> (Abu Batu)			
Berat Jenis Kering (<i>Bulk</i>)	2,5	gr/cc	
Berat Jenis Jenuh Permukaan (<i>Effective</i>)	2,6	gr/cc	
Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	2,7	gr/cc	> 2,5
Penyerapan Air (<i>Absorption</i>)	2,8	%	< 3

Tabel 5.2 menunjukkan hasil analisis berat jenis pada agregat kasar, agregat medium, agregat halus, dan bahan pengisi/*filler*. Nilai berat jenis semu (*apparent specific gravity*) pada masing – masing agregat dan bahan pengisi/*filler* memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi III sebesar > 2,5gr/cc. Sehingga dapat dikatakan agregat volume menyeluruh dari agregat tidak termasuk volume pori yang terisi air setelah perendaman selama 1 hari. Agar volume pori diperoleh digunakan berat jenis efektif untuk dipakai pada campuran beton aspal. Apabila dipakai berat jenis semu untuk campuran beton aspal maka aspal dianggap memenuhi rongga pori yang dapat diserap air. Berat jenis efektif diperoleh sebesar

2,59 gr/cc, hal ini dapat diartikan memenuhi karakteristik untuk berat jenis agregat terhadap aspal. Besar penyerapan air dari agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi/filler memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi III dengan nilai penyerapan air < 3% sehingga dapat diartikan rongga pori pada agregat masih dapat terisi oleh aspal. Sedangkan pada berat jenis agregat medium rongga pori melebihi batas persyaratan sebesar 3,1% maka pada agregat medium penyerapan aspal lebih banyak.

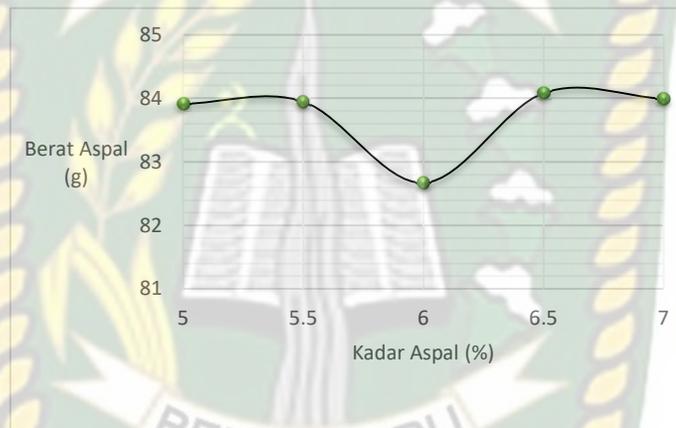
5.4 Penetapan Kadar Aspal Rencana

Penetapan kadar aspal rencana diperlukan agar memperoleh mutu perkerasan yang tinggi sehingga perencanaan beton aspal dapat mencapai umur rencana layanan yang telah direncanakan. Rancangan kadar aspal optimum (P_b) dihitung terlebih dahulu dengan persamaan 3.4, dari hasil perhitungan diperoleh nilai kadar aspal rencana (P_b) 5,9%. Untuk benda uji kadar aspal rencana dibuat 15 buah benda uji dengan interval 0,5%. Hasil rancangan kadar aspal (P_b) untuk mendapatkan kadar aspal optimum (KAO) yaitu 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%. Hasil kebutuhan aspal terhadap agregat berdasarkan rancangan kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Kebutuhan Aspal Terhadap Agregat (Hasil Analisis, 2020)

No.	Kadar Aspal Rencana (%)	Berat Aspal (gram)
1	5	83,912
2	5,5	83,947
3	6	82,669
4	6,5	84,086
5	7	83,994

Tabel 5.3 merupakan kebutuhan aspal terhadap agregat, untuk kadar aspal rencana 5% diperoleh berat aspal sebesar 83,912 gram, kadar aspal rencana 5,5% diperoleh berat aspal sebesar 83,947 gram, kadar aspal rencana 6% diperoleh berat aspal sebesar 82,669 gram, kadar aspal rencana 6,5% diperoleh berat aspal 84,086 gram, dan kadar aspal rencana 7% diperoleh berat aspal sebesar 83,994 gram. Sehingga dapat dibuat grafik hubungan persentase kadar aspal terhadap berat aspal seperti Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Grafik Kebutuhan Aspal Terhadap Agregat (Hasil Analisis, 2020)

Gambar 5.2 merupakan grafik kebutuhan aspal terhadap agregat dimana nilai berat aspal pada kadar aspal 5,5% sampai 6% grafik mengalami penurunan dan naik kembali pada kadar aspal 6% sampai 6,5% hal ini dipengaruhi oleh kadar aspal rencana dan berat jenis *bulk* campuran. Berat jenis *bulk* campuran diperoleh dari berat agregat di udara dikurangi berat isi benda uji sehingga naik turunnya grafik kebutuhan aspal bukan hanya dipengaruhi oleh tingginya kadar aspal akan tetapi juga dipengaruhi oleh berat jenis *bulk* campuran.

5.5 Pengujian Marshall Untuk Menentukan KAO

Pengujian Marshall pada benda uji kadar aspal rencana (P_b) untuk menentukan nilai kadar aspal optimum (KAO). Hasil pengujian marshall berupa nilai stabilitas (*stability*) terhadap nilai kelelehan (*flow*) dari campuran beton aspal (AC-WC) serta nilai karakteristik beton aspal seperti kepadatan (*density*), *Void Filled With Asphalt* (VFWA), *Void in the Mix* (VITM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), dan *Marshall Quotient* (MQ). Tabel 5.4 menunjukkan hasil pengujian Marshall pada benda uji rencana (P_b) sesuai dengan batasan – batasan ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi III.

Tabel 5.4 Hasil Uji Marshall Benda Uji Rencana (P_b) (Hasil Analisis, 2020)

No.	Kriteria	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)					Satuan
			5	5,5	6	6,5	7	
1	Density	-	2,296	2,309	2,286	2,337	2,347	gr/cm ³
2	VFWA	> 65 %	69,3	76,8	76,8	92,7	99,7	%
3	VITM	3 - 5 %	4,9	3,7	4,0	1,2	0,1	%
4	VMA	> 15 %	16,1	16,1	17,3	15,9	16,0	%
5	Stabilitas	> 800 kg	1788	2787	2840	3295	2804	kg
6	Flow	2 - 4 mm	4,8	3,3	4,6	5,5	4,3	mm
7	MQ	> 250 Kg/mm	372	845	617	599	652	Kg/mm

Tabel 5.4 merupakan hasil pengujian marshall pada benda uji rencana (P_b) dengan jenis kriteria beton aspal yang memenuhi batasan nilai spesifikasi dengan nilai persentase kadar aspal yang direncanakan. Spesifikasi batasan untuk nilai density tidak ada, akan tetapi tinggi rendahnya nilai density mempengaruhi durabilitas beton aspal. Nilai density terendah pada kadar aspal 6% sebesar 2,286 gr/cm³ dan tertinggi pada kadar aspal 7% sebesar 2,347%. Nilai VITM pada kadar

aspal 5% sampai 6% memenuhi batasan spesifikasi yaitu 3% sampai 5% sedangkan untuk kadar aspal 6,5% sampai 7% tidak memenuhi batasan spesifikasi. Nilai flow pada kadar aspal 5,5% sebesar 3,3 mm memenuhi batasan spesifikasi yaitu 2 sampai 4 mm untuk kadar aspal 5%, 6%, 6,5%, dan 7% tidak memenuhi batasan spesifikasi. Nilai VFWA, VMA, Stabilitas, dan MQ memenuhi persyaratan batasan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi III.

Uraian pada Tabel 5.4 dapat dibuat dalam bentuk grafik dari masing – masing kriteria benda uji terhadap kadar aspal dan dibandingkan dengan nilai spesifikasi sehingga diperoleh nilai kadar aspal optimum (KAO). Berikut ini grafik kriteria hasil pengujian Marshall dapat dilihat pada uraian penjelasan masing – masing kriteria yang terdiri dari kepadatan (*density*), *Void Filled with Asphalt* (VFWA), *Void in the Mix* (VITM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*) dan *Marshall Quotient* (MQ).

1. Kepadatan (*Density*)

Perbandingan berat kering benda uji terhadap berat volume isi benda uji disebut kepadatan (*density*). Kerapatan atau rongga pada campuran beton aspal dipengaruhi oleh tingkat kepadatan. Semakin tinggi nilai kepadatan beton aspal maka beton aspal semakin kedap air dan udara serta semakin kuat beton aspal dalam menerima beban deformasi akibat lalu lintas kendaraan. Sehingga lapisan beton aspal dapat berfungsi sebagai lapis aus. Faktor yang mempengaruhi nilai kepadatan antara lain gradasi campuran beton aspal, nilai abrasi material, temperatur pemadatan, jumlah tumbukan pemadatan serta bahan pengisi (*filler*) yang digunakan.



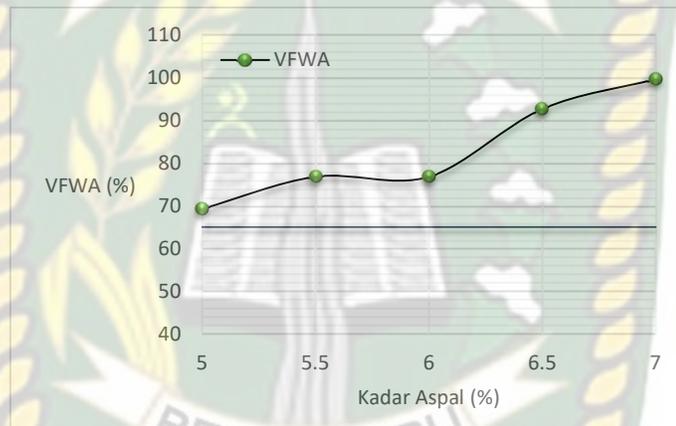
Gambar 5.3 Grafik Kepadatan (*Density*) (Hasil Analisis, 2020)

Hubungan nilai kepadatan (*density*) terhadap kadar aspal rencana ditunjukkan pada Gambar 5.3 grafik kepadatan. Menghasilkan peningkatan nilai kepadatan pada kadar aspal 5% sampai 5,5%, dan 6,5% sampai 7%. Hal ini menunjukkan lapis tipis pada kadar aspal tersebut dapat menyelimuti pori - pori agregat dengan baik dan mengisi rongga campuran beton aspal saat proses pematatan. Pada grafik kadar aspal 5,5% sampai 6% terlihat grafik menurun atau nilai kepadatan menurun, hal ini disebabkan pada kadar aspal 6% nilai *Void in Mineral Aggregate* (VMA) tinggi atau rongga antar butiran agregat pada campuran beton aspal besar sehingga nilai kepadatan menurun dan ikatan aspal terhadap agregat tidak kuat.

2. *Void Filled With Asphalt* (VFWA)

Void Filled With Asphalt (VFWA) adalah persentase rongga dalam agregat (VMA) yang terisi aspal yang nilainya akan naik berdasarkan naiknya kadar aspal sampai batas tertentu dimana rongga telah penuh. Semakin tinggi nilai VFWA maka semakin rendah nilai rongga dalam campuran beton aspal (VITM) yang berarti rongga pada campuran beton aspal banyak terisi oleh aspal sehingga kelembapan beton aspal terhadap air dan udara menjadi tinggi dan beton aspal

semakin awet. Akan tetapi jika nilai VFWA terlalu tinggi dapat mengakibatkan terjadinya *bleeding* pada aspal disebabkan rongga dalam campuran beton aspal (VITM) terlalu kecil sehingga aspal menyelimuti agregat menjadi tipis atau film aspal tipis dan daya tahan (durabilitas) beton aspal menjadi lemah. Hubungan nilai VFWA terhadap persentase kadar aspal rencana dapat dilihat pada Gambar 5.4 grafik *Void Filled With Asphalt* (VFWA). Nilai VFWA memenuhi ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi III yaitu $> 65\%$.

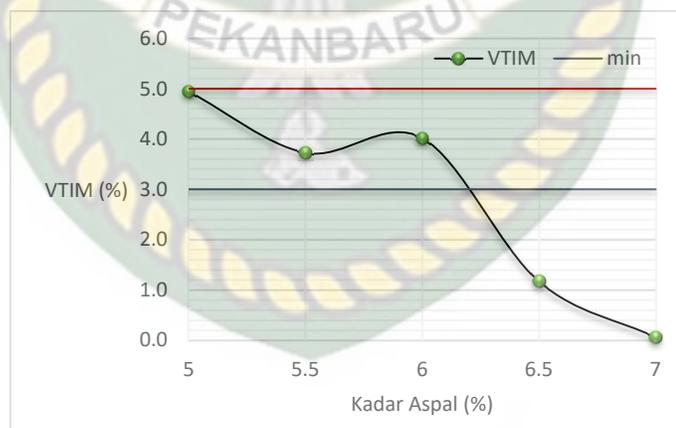


Gambar 5.4 Grafik *Void Filled With Asphalt* (VFWA) (Hasil Analisis, 2020)

Pada Gambar 5.4 grafik *Void Filled With Asphalt* (VFWA), nilai VFWA titik kadar aspal 5% sampai 5,5% mengalami kenaikan yang dapat diartikan rongga agregat dapat terisi aspal dengan baik sehingga kedap terhadap udara maupun air dan lebih awet. Tetapi pada kadar aspal 6% grafik mengalami penurunan yang artinya nilai rongga campuran pada beton aspal (VITM) tinggi menyebabkan aspal lebih sedikit dapat mengisi rongga dalam agregat. Namun nilai VFWA pada kadar aspal 6% masih memenuhi batas minimal nilai VFWA $> 65\%$.

3. *Void in the Mix* (VITM)

Void in the Mix (VITM) adalah persentase rongga atau pori yang terdapat pada campuran beton aspal. Kadar aspal yang semakin tinggi membuat nilai VITM menjadi semakin rendah. Jika nilai VITM terlalu rendah maka aspal akan menjadi *bleeding* disebabkan rongga udara atau pori yang diisi oleh aspal menjadi berlebih sehingga saat campuran beton aspal dibebani beban lalu lintas yang berulang pada temperatur yang panas aspal mengalami kelelahan menyebabkan butiran agregat campuran beton aspal begeser membentuk gundukan atau tumpukan campuran beton aspal begitu juga sebaliknya. Jika nilai VITM terlalu tinggi maka pemakaian aspal akan menjadi rendah sehingga rentan terhadap kelelahan menyebabkan retak, alur, disintegrasi (pelepasan butiran) dan durabilitas beton aspal menjadi rendah. Oleh karena itu, nilai VITM mempunyai batasan – batasan ketentuan yaitu 3% - 5% yang berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi III.



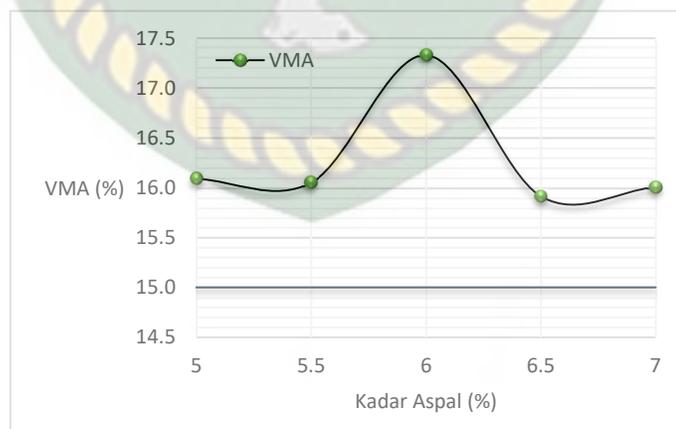
Gambar 5.5 Grafik *Void in the Mix* (VITM) (Hasil Analisis, 2020)

Hubungan nilai VITM terhadap persentase kadar aspal rencana ditunjukkan pada Gambar 5.5 grafik *Void in the Mix* (VITM). Menghasilkan nilai pada kadar

aspal 5,5% sampai 6% grafik mengalami kenaikan dan grafik turun kembali pada kadar aspal 6% sampai 7%. Kenaikan nilai VITM dipengaruhi oleh gradasi agregat, temperatur pemadatan dan tekanan atau jumlah tumbukan saat pemadatan. Akan tetapi nilai VITM pada rentang 5,5% sampai 6% memenuhi batasan ketentuan nilai VITM sedangkan pada kadar aspal 5% tidak memenuhi batas maksimum nilai VITM untuk kadar aspal 6,5% dan 7% tidak memenuhi batas minimum nilai VITM.

4. *Void in Mineral Aggregate* (VMA)

Void in Mineral Aggregate (VMA) adalah persentase rongga udara diantara butiran agregat pada campuran beton aspal yang dipadatkan. Batasan ketentuan nilai VMA >15%. Nilai VMA yang terlalu besar akan mengakibatkan rongga antar butiran agregat besar, rongga diisi oleh aspal sebagaimana fungsi aspal sebagai bahan pengikat. Hal ini menyebabkan ikatan aspal akan menjadi lemah apabila dilalui beban lalu lintas berulang maka beton aspal akan mengalami segregasi, sehingga nilai durabilitas beton aspal menjadi rendah. Apabila nilai VMA dibawah batas ketentuan akan berdampak pada nilai stabilitas campuran beton aspal.



Gambar 5.6 Grafik *Void in Mineral Aggregate* (VMA) (Hasil Analisis, 2020)

Hubungan nilai *Void in Mineral Aggregate* (VMA) terhadap persentase kadar aspal rencana ditunjukkan pada Gambar 5.6 grafik *Void in Mineral Aggregate* (VMA). Menghasilkan nilai pada kadar aspal 5,5% sampai 6% grafik mengalami kenaikan sangat tinggi mengakibatkan rongga agregat besar berdampak terhadap deformasi berlebih akibat beban lalu lintas sehingga mengalami retak dan segregasi. pada kadar aspal 6% sampai 7% grafik mengalami penurunan karena rongga telah terisi penuh oleh aspal hal ini juga disebabkan beberapa faktor yaitu gradasi agregat, tekanan atau jumlah tumbukan pemadatan dan temperatur pemadatan. Akan tetapi nilai pada masing – masing kadar aspal memenuhi batas ketentuan persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi III namun kondisi kadar aspal 6% tidak disarankan untuk digunakan.

5. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas (*Stability*) adalah kemampuan campuran beton aspal dalam menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis. Kenaikan nilai stabilitas bersamaan dengan bertambahnya kadar aspal, sampai batas optimum dan turun setelah melampaui batas optimum karena aspal sebagai bahan pengikat (kohesi) antar agregat dan dapat menjadi pelicin setelah melebihi batas optimum. Stabilitas sangat dipengaruhi oleh kerapatan campuran beton aspal, gradasi agregat, abrasi agregat, kerataan pemadatan dan kadar aspal. Hasil nilai stabilitas pada masing – masing kadar aspal memenuhi batas minimal nilai stabilitas yaitu > 800 kg berdasarkan persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi III. Grafik stabilitas (*stability*) dapat dilihat pada Gambar 5.7.

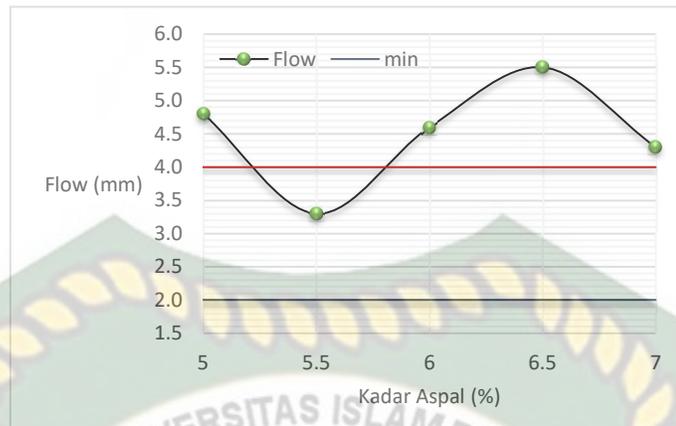


Gambar 5.7 Grafik Stabilitas (*Stability*) (Hasil Analisis, 2020)

Gambar 5.7 grafik stabilitas (*stability*) merupakan hubungan nilai stabilitas terhadap persentase kadar aspal rencana. Grafik menunjukkan nilai pada kadar aspal 5% sampai 6,5% grafik mengalami kenaikan dan pada kadar aspal 7% grafik mengalami penurunan karena kadar aspal yang tinggi mengakibatkan aspal menyelimuti agregat berlebih. Pada saat diberi beban, aspal mengisi rongga udara pada campuran dan mengakibatkan aspal menjadi licin sehingga sifat kohesi aspal terhadap agregat menjadi lemah dan nilai stabilitas menjadi rendah.

6. Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan (*Flow*) adalah keadaan perubahan bentuk campuran beton aspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas keruntuhan (deformasi). Nilai *flow* sangat berkaitan dengan nilai stabilitas pada beton aspal, nilai *flow* dengan angka kelelehan tinggi serta stabilitas rendah diatas batas minimum, beton aspal akan cenderung bersifat plastis. Jika nilai *flow* rendah pada campuran beton aspal dan nilai stabilitas tinggi akan cenderung bersifat getas dan mudah retak saat ada pembebanan berulang. Batasan – batasan ketentuan nilai *flow* antara 2 – 4 mm berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi III.



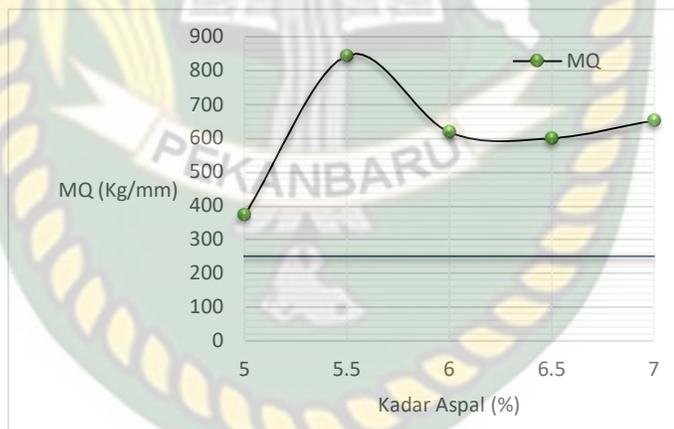
Gambar 5.8 Grafik Kelelehan (*Flow*) (Hasil Analisis, 2020)

Gambar 5.8 grafik kelelehan (*flow*) merupakan hubungan nilai *flow* terhadap persentase kadar aspal rencana. Grafik menunjukkan nilai pada kadar aspal 5% grafik mengalami kenaikan karena banyaknya rongga antar agregat (VMA) yang diisi oleh aspal sehingga saat dilakukan pembebanan aspal akan bersifat licin, sewaktu pembeban uji Marshall nilai putaran jarum stabilitas pada alat uji Marshall berputar lambat sedangkan nilai *flow* berputar cepat. Pada kadar aspal 5,5% sampai 6,5% grafik mengalami kenaikan sesuai dengan tingginya kadar aspal nilai *flow* akan semakin tinggi. Pada kadar aspal 7% terjadi penurunan grafik pada nilai *flow* kondisi ini sama dengan kondisi pada kadar aspal 5%.

Adapun faktor yang mempengaruhi gradasi agregat, temperatur pemadatan, serta tekanan dan jumlah tumbukan saat pemadatan. Berdasarkan ketentuan persyaratan nilai *flow* untuk beton aspal pada kadar aspal 5,5% memenuhi nilai persyaratan *flow*. Sedangkan pada kadar aspal 5%, 6%, 6,5%, 7% nilai *flow* diatas batas maksimal nilai persyaratan *flow* yang berarti beton aspal bersifat sangat plastis.

7. Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient (MQ) adalah Perbandingan antara nilai stabilitas (*Stability*) dengan nilai kelelahan (*flow*). Nilai *Marshall Quotient* pada perencanaan perkerasan dengan metode Marshall digunakan sebagai pendekatan nilai kelenturan (*fleksibilitas*) perkerasan. Nilai kelenturan akan naik apabila nilai *Marshall Quotient* cenderung rendah hal ini menyebabkan beton aspal bersifat plastis sehingga mudah mengalami deformasi terhadap beban berulang dimana fungsi aspal sebagai bahan pengikat menjadi pelicin. Sedangkan nilai *Marshall Quotient* yang tinggi akan menyebabkan campuran beton aspal bersifat kaku sehingga mudah getas dan retak. Hubungan nilai *Marshall Quotient* (MQ) terhadap persentase kadar aspal rencana ditunjukkan pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Grafik *Marshall Quotient* (MQ) (Hasil Analisis, 2020)

Gambar 5.9 merupakan grafik *Marshall Quotient* (MQ). Menghasilkan nilai MQ pada kadar aspal 5% sampai 5,5% mengalami kenaikan yang berarti campuran beton aspal bersifat kaku (*stiff*) dan turun kembali pada kadar 5,5% sampai 6,5%.

Namun nilai *Marshall Quotient* (MQ) dari masing – masing kadar aspal memenuhi batasan ketentuan nilai *Marshall Quotient* yaitu >250 kg/mm.

5.6 Penetapan Nilai KAO berdasarkan *Narrow Range*

Penetapan nilai kadar aspal optimum (KAO) berdasarkan *narrow range* dimaksudkan untuk memperoleh persentase pemakaian kadar aspal pada campuran beton aspal. Penetapan digunakan metode *narrow range* yaitu pengambilan nilai tengah dari nilai karakteristik hasil pengujian Marshall yang memenuhi persyaratan batasan nilai karakteristik Marshall. Tabel 5.5 penetapan kadar aspal optimum.

Tabel 5.5 Penetapan Kadar Aspal Optimum (Hasil Analisis, 2020)

Kriteria	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)					Satuan
		5	5,5	6	6,5	7	
Density	-	█					gr/cm ³
VFWA	> 65 %	█					%
VITM	3 – 5 %	█					%
VMA	> 15 %	█					%
Stabilitas	> 800 kg	█					kg
Flow	2 – 4 mm	█					mm
MQ	> 250 kg/mm	█					Kg/mm
Kadar Aspal Range (%)		5,23	↓	5,8			
Kadar Aspal Optimum (%)			5,52				

Tabel 5.5 merupakan hasil penetapan kadar aspal optimum dengan menggunakan metode *narrow range*. Sehingga diperoleh persentase nilai kadar aspal range sebesar 5,23% sampai 5,8%. Nilai kadar aspal optimum diperoleh dengan mengambil nilai tengah dari kadar aspal range maka diperoleh nilai kadar aspal optimum sebesar 5,52% digenapkan menjadi 5,5%.

5.7 Hasil Uji Unsur Kimia Air

Pengujian unsur kimia air bertujuan melihat karakteristik kimia air gambut, air hujan dan air mineral dengan beberapa parameter yang dianggap dapat mempengaruhi percepatan penuaan dan nilai durabilitas. Parameter unsur kimia air berupa nilai pH, nitrogen total (Ca), magnesium (Mg), kalium (K), natrium (Na), tembaga (Cu), seng (Zn), mangan (Mn), Besi (Fe) dan zat organik sebagai $KmnO_4$. Pada Tabel 5.6 menunjukkan hasil pengujian unsur kimia air berupa air gambut, air hujan, dan air mineral. Pengujian dilakukan di Dinas Kesehatan Laboratorium Penguji UPT Laboratorium Kesehatan dan Lingkungan Pemerintah Provinsi Riau.

Tabel 5.6 Hasil Uji Unsur Kimia Air (Hasil Analisis, 2020)

Parameter	Sat.	Air Gambut	Air Hujan	Air Mineral	Metode
A. Kimia					
pH	-	3	5,3	7	SNI 06-6989. 11-2004
Nitrogen Total	mg/L	< 1,5	< 1,5	< 1,5	USEPA
Calcium (Ca)	mg/L	88	10,4	128	SNI 06-6989. 12-2004
Magnesium (Mg)	mg/L	4,9	3,1	60	SNI 06-6989. 12-2004
Kalium (K)	mg/L	5,4728	3,97	2,46	APHA 3030 B, 3111B
Natrium (Na)	mg/L	78,81	0,284	0,568	Spectrofotometric
Tembaga (Cu)	mg/L	< 0,0028	<0,0028	< 0,0028	APHA 3030 B, 3111B
Seng (Zn)	mg/L	< 0,0060	0,57	< 0,0060	APHA 3030 B, 3111B
Mangan (Mn)	mg/L	0,053	0,024	0,022	APHA 3030 B, 3111B
Besi (Fe)	mg/L	0,47	0,0054	< 0,0040	APHA 3030 B, 3111B
B. Kimia Organik					
Zat Organik sebagai $KMnO_4$	mg/L	148,52	1,75	< 0,1093	SNI 06-6989.22-2004

Tabel 5.6 merupakan hasil uji unsur kimia air yang terdiri dari air gambut, air hujan dan air mineral. Ada empat parameter yang menjadi perhatian yang menunjukkan perbedaan nilai sangat signifikan antara air gambut, air hujan, dan air

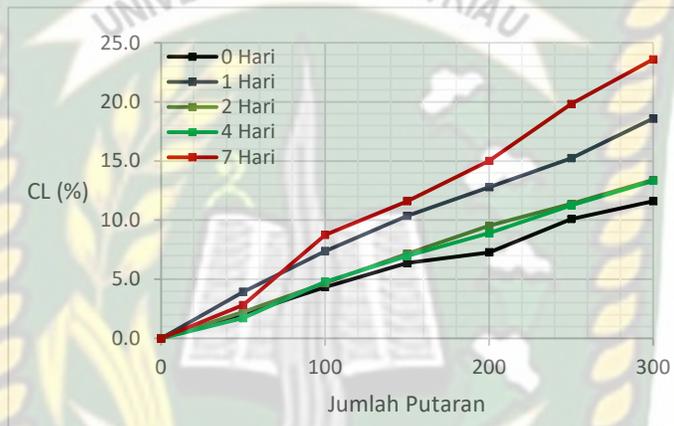
mineral sehingga penelitian ini dibatasi hanya empat parameter unsur kimia yaitu nilai pH, natrium (Na), besi (Fe), dan zat organik sebagai KMnO_4 . Nilai pH berhubungan dengan nilai zat organik apabila nilai pH rendah maka zat organik akan dapat cenderung tinggi maupun rendah tergantung persentase banyaknya senyawa lignin (zat kayu). Semakin tinggi keasaman air gambut disebabkan tingginya bahan organik yang mengandung lignin (Barchia, 2012).

Nilai pH air gambut sebesar 3 bersifat sangat asam, air hujan sebesar 5,3 bersifat asam, dan pada air mineral sebesar 7 bersifat netral. Nilai Fe dipengaruhi oleh reaksi oksidasi molekul zat organik yang mempengaruhi sifat keasaman pada air semakin tinggi keasaman pada air maka Fe semakin tinggi, untuk air gambut Fe sebesar 0,47 mg/l, air hujan 0,0054 mg/l, dan air mineral $< 0,0040$ mg/l. Natrium (Na) zat bersifat lunak, mengapung di air mengurai menjadi gas hidrogen dan ion hidroksida (NaOH) basa kuat. Nilai Na air gambut sebesar 78,81 mg/l, air hujan 0,284 mg/l, dan air mineral 0,568. Tingginya nilai Na pada air gambut disebabkan tingginya zat organik air gambut dikarenakan Na merupakan komponen yang dapat dijumpai dari tumbuh-tumbuhan.

5.8 Hasil Uji Cantabro

Pengujian Cantabro dimaksudkan untuk mengetahui persentase nilai kehilangan berat campuran beton aspal akibat gaya impact atau abrasi dari mesin *Los Angeles Abrasion* hal ini dilakukan untuk mensimulasikan beton aspal menerima beban lalu lintas secara berulang di jalan raya. Pada penelitian ini pengujian cantabro dilakukan pada benda uji (*Long Term Oven Aging*, (LTOA)) yaitu proses penuaan secara progresif atau penuaan jangka panjang. Serta diberikan

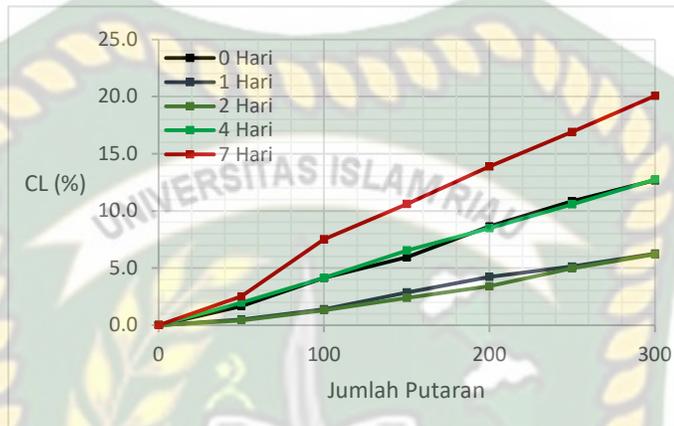
efek pengaruh rendaman air berupa air gambut, air hujan, dan air mineral dengan masa rendaman 0, 1, 2, 4, dan 7 hari. Rendaman air dimaksudkan untuk mensimulasikan pengaruh air pada permukaan jalan raya yang menyebabkan terjadinya penuaan (*aging*) dan penurunan durabilitas pada perkerasan beton aspal. Gambar 5.10 merupakan grafik hasil pengujian *Cantabro Loss* pada rendaman air gambut untuk hasil data pengujian dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 5.10 Grafik Cantabro Rendaman Air Gambut (Hasil Analisis, 2020)

Gambar 5.10 grafik pengujian *Cantabro Loss* (CL) pada rendaman air gambut merupakan hubungan durasi rendaman terhadap jumlah putaran pada mesin *Los Angeles Abrasion*. Grafik CL rendaman air gambut pada durasi rendaman 0 hari hingga 7 hari mengalami kenaikan grafik di setiap jumlah putaran yang artinya beton aspal mengalami kehilangan berat atau penurunan kekuatan. Nilai CL tertinggi pada jumlah putaran 300 durasi rendaman 7 hari sebesar 23,6%, Sedangkan nilai CL terendah pada durasi rendaman 0 hari sebesar 11,6%. Pada durasi rendaman 1 hari nilai CL lebih tinggi pada durasi rendaman 4 hari, hal ini disebabkan beberapa faktor diantaranya gradasi agregat, nilai abrasi agregat,

kepadatan (density) saat pemadatan beton aspal. Gambar 5.11 merupakan grafik hasil pengujian *Cantabro Loss* pada rendaman air hujan untuk hasil data pengujian dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 5.11 Grafik Cantabro Rendaman Air Hujan (Hasil Analisis, 2020)

Gambar 5.11 grafik pengujian *Cantabro Loss* (CL) pada rendaman air hujan merupakan hubungan durasi rendaman terhadap jumlah putaran pada mesin *Los Angeles Abrasion*. Grafik CL rendaman air hujan pada durasi rendaman 0 hari hingga 7 hari mengalami kenaikan grafik di setiap jumlah putaran yang artinya beton aspal mengalami kehilangan berat atau penurunan kekuatan. Nilai CL tertinggi pada jumlah putaran 300 durasi rendaman 7 hari sebesar 20,1%, Sedangkan nilai CL terendah pada durasi rendaman 2 hari sebesar 6,2% lebih kecil dari nilai CL durasi rendaman 0 hari. Hal ini disebabkan beberapa faktor diantaranya gradasi agregat, nilai abrasi agregat, kepadatan (density) saat pemadatan beton aspal. Gambar 5.12 merupakan grafik hasil pengujian *Cantabro Loss* pada rendaman air mineral untuk hasil data pengujian dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 5.12 Grafik Cantabro Rendaman Air Mineral (Hasil Analisis, 2020)

Gambar 5.12 grafik pengujian *Cantabro Loss* (CL) pada rendaman air mineral merupakan hubungan durasi rendaman terhadap jumlah putaran pada mesin *Los Angeles Abrasion*. Grafik CL rendaman air mineral pada durasi rendaman 0 hari hingga 7 hari mengalami kenaikan grafik di setiap jumlah putaran yang artinya beton aspal mengalami kehilangan berat atau penurunan kekuatan. Nilai CL tertinggi pada jumlah putaran 300 durasi rendaman 7 hari sebesar 17,7%, Sedangkan nilai CL terendah pada durasi rendaman 1 hari sebesar 5,9% lebih kecil dari nilai CL durasi rendaman 0 hari. Hal ini disebabkan beberapa faktor diantaranya gradasi agregat, nilai abrasi agregat, kepadatan (density) saat pemadatan beton aspal.

Nilai hasil pengujian *Cantabro Loss* menunjukkan nilai persentase kehilangan berat pada campuran beton aspal *Long Term Oven Aging* (LTOA) yang telah dilakukan perendaman air gambut, air hujan dan air mineral pada jumlah putaran 300 kali. Gambar 5.13 merupakan grafik hasil pengujian *Cantabro Loss* durasi rendaman 7 hari pada rendaman air gambut, air hujan, dan air mineral.

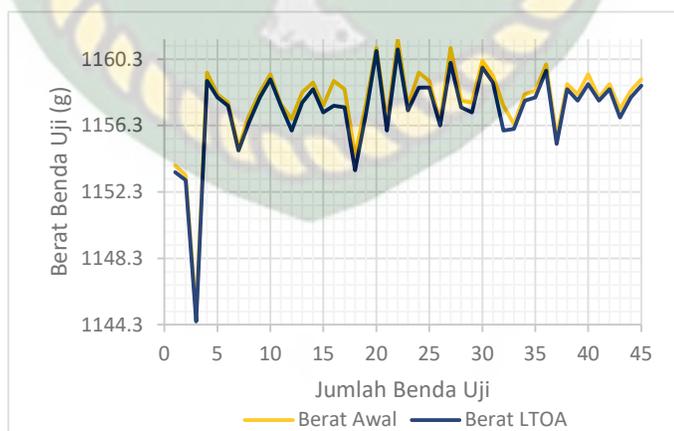


Gambar 5.13 Grafik Cantabro Rendaman Air Gambut, Air Hujan dan Air Mineral (Hasil Analisis, 2020)

Gambar 5.13 grafik hasil pengujian *Cantabro Loss* (CL) pada rendaman air gambut, air hujan dan air mineral. Grafik CL pada masing – masing rendaman mengalami kenaikan grafik di setiap jumlah putaran yang artinya beton aspal mengalami kehilangan berat atau penurunan kekuatan. Nilai persentase CL pada putaran 300 terhadap benda uji LTOA dengan waktu rendaman 7 hari sebesar 23,6% air gambut, 20,1% air hujan, dan 17,7% air mineral. Hasil tersebut memenuhi batas persyaratan *European Standard Draft Test Method PrEN 12697 – 17* dimana persentase kehilangan berat tidak lebih dari 25%.

Tingginya nilai *Cantabro Loss* pada air gambut disebabkan air gambut memiliki unsur kimia dengan nilai pH 3 sehingga air bersifat sangat asam sebagaimana penjelasan pada Tabel 5.9. Tingkat keasaman air gambut dipengaruhi oleh unsur zat organik yang terkandung dalam air gambut, nilai zat organik pada air gambut sebesar 148,52 mg/l. Zat organik merupakan penghasil unsur kimia natrium (Na) sedangkan unsur besi (Fe) dipengaruhi oleh tingkat keasaman pada air gambut semakin asam air gambut maka nilai unsur Fe semakin tinggi.

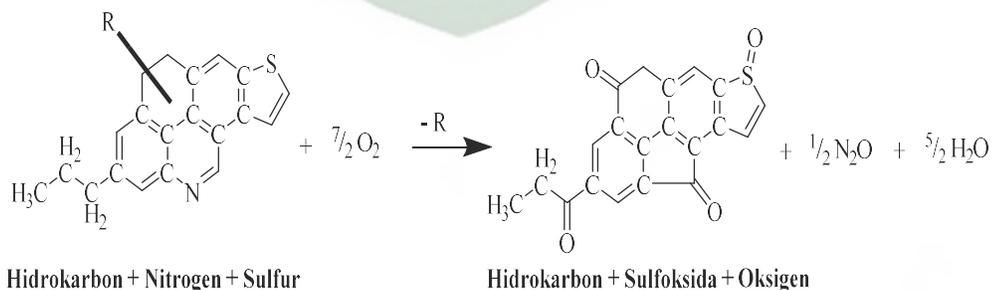
Unsur kimia aspal terdiri dari *asphaltenes* dengan berat molukel sebesar 5 – 25%, *resins* sebesar \pm 20%, *aromatic* sebesar 40 – 65%, dan *saturate* sebesar 5 - 20% (Swiertz, 2010). Unsur kimia *aromatic* dan *saturate* terdiri dari molekul atom karbon (C) dan hidrogen (H) disebut hidrokarbon berbentuk cair atau kental bersifat tidak polar dikarenakan unsur elektronegatifitas yang sama sehingga dapat bereaksi dengan unsur seperti hidrogen (H), oksigen (O) dan nitrogen (N). Campuran beton aspal yang telah dipadatkan pada benda uji LTOA merupakan proses penuaan akibat reaksi kimia yang bersifat tidak polar atau disebut oksidasi (*oxidation*) dan pengerasan fisik (*steric hardening*). Benda uji LTOA dipanaskan dalam oven pada suhu 85°C akan mengalami pemuaihan yang mengakibatkan hilangnya fraksi ringan *oil aromatic* dan *saturate* sehingga viskositas aspal rendah akibat proses oksidasi. Ketika aspal dikeluarkan dari oven aspal akan mengalami perubahan struktur molekul, aspal membentuk ikatan baru bersifat *steric hardening* dan sedikit berongga. Gambar 5.14 grafik perbandingan berat awal benda uji terhadap berat benda uji LTOA menunjukkan perubahan berat sebesar 0,1 gram sampai 1,5 gram.



Gambar 5.14 Grafik Hasil Perbandingan Berat Awal Benda uji Terhadap Berat Benda Uji LTOA (Hasil Analisis, 2020)

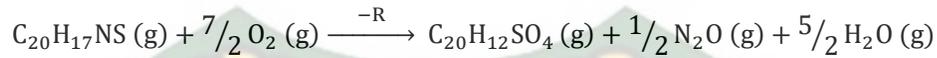
Asphaltenes dan *resins* terdiri dari unsur karbon (C), hidrogen (H) sedikit mengandung nitrogen (N), sulfur (S) dan oksigen (O). *Ashpaltenes* bersifat rheologi/kekentalan aspal. *Resins* berfungsi sebagai zat pendispersi (pelarut) *asphaltenes* bersifat sangat polar dan memberikan sifat adesi pada aspal. Sifat polar merupakan senyawa yang terbentuk akibat adanya suatu ikatan antar elektron pada unsur – unsurnya. Disebabkan unsur yang berikat mempunyai nilai keelektronegatifitas yang berbeda. Sifat polar dapat larut dalam air sehingga apabila aspal terkontaminasi air maka unsur *asphaltenes* dan *resins* akan mudah terlarut atau terurai menyebabkan daya lekat aspal antar agregat lepas (sifat adesi) dan melemahnya ikatan antar aspal dengan agregat (sifat kohesi). Zat organik yang mempengaruhi keasaman air gambut serta unsur natrium (Na) dan Besi (Fe) sangat mempengaruhi sifat polar pada *asphaltenes* dan *resins* sehingga penuaan beton aspal lebih cepat terjadi pada air gambut dibandingkan air hujan dan air mineral.

Llanos et al (2018) mengilustrasikan model molekul reaksi kimia berupa oksidasi berdasarkan unsur analisis dan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) terhadap unsur *asphaltenes*. Reaksi kimia ini berbanding lurus dengan penelitian ini dimana proses oksidasi dilakukan dengan cara *Long Term Oven Aging* (LTOA). Gambar 5.15 Ilustrasi reaksi kimia oksidasi terhadap unsur *asphaltenes*.



Gambar 5.15 Ilustrasi Reaksi Kimia Oksidasi *Asphaltenes* (Llanos et al, 2018)

Gambar 5.15 merupakan ilustrasi reaksi kimia oksidasi *asphaltenes*. Ilustrasi reaksi kimia oksidasi *asphaltenes* pada Gambar 5.15 dapat dijabarkan dengan persamaan reaksi kimia sebagai berikut.

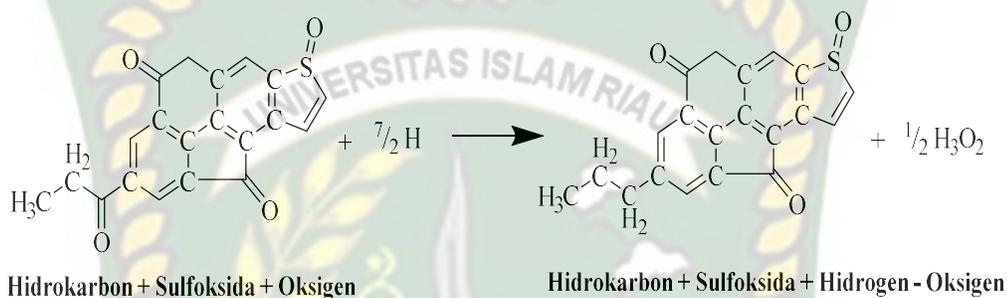


Hasil persamaan reaksi kimia tersebut menunjukkan *Asphaltenes* terdiri dari unsur karbon (C), hidrogen (H), nitrogen (N), sulfur (S) dan oksigen (O). Susunan pembentuk unsur *asphaltenes* dapat disebut dengan simbol R, R adalah alkil yang merupakan radikal univalen mengandung atom karbon dan hidrogen tersusun dalam satu rantai atau dapat disebut rantai alkil (R). *Asphaltenes* bereaksi dengan $\frac{7}{2} O_2$ (oksigen) dimana $\frac{7}{2}$ merupakan angka koefisien hasil penelitian Llanos et al. Reaksi kimia oksidasi *asphaltenes* mengakibatkan hilangnya nitrogen dan rantai alkil (R) pada *asphaltenes*.

Hilangnya rantai alkil (-R) mengakibatkan perubahan rantai alkil pada unsur *aromatic* menjadi keton (-C=O) dan unsur sulfur menjadi sulfoksida (-S=O). Sehingga unsur *asphaltenes* yang terbentuk akibat reaksi kimia oksidasi memiliki tambahan unsur oksigen (O) yang mengakibatkan terjadinya penuaan (*aging*) pada beton aspal. Penuaan (*aging*) beton aspal terjadi dalam waktu jangka panjang atau saat masa layanan beton aspal yang menimbulkan kerusakan retak dan disintegrasi.

Penuaan (*aging*) beton aspal akibat air gambut dipengaruhi zat organik apabila nilai pH rendah maka zat organik akan cenderung tinggi maupun rendah tergantung persentase banyaknya senyawa lignin. Dariah dkk (2011) kandungan lignin menghasilkan asam-asam organik di antaranya asam fenolat (C₆H₄OH) dan senyawa karboksilat (-COOH) yang mendominasi kompleks pertukaran dan

bersifat sebagai asam lemah dapat terdisosiasi dan menghasilkan ion H dalam jumlah banyak. Sehingga penuaan (*aging*) beton aspal akibat reaksi kimia air gambut di ilustrasikan ion H bereaksi dengan hasil reaksi kimia oksidasi *asphaltenes*. Gambar 5.16 merupakan ilustrasi reaksi kimia air gambut terhadap unsur *asphaltenes* teroksidasi.



Gambar 5.16 Ilustrasi Reaksi Kimia Air Gambut Terhadap Unsur *Asphaltenes* Teroksidasi (Hasil Analisis, 2020) (Perlu Konfirmasi lebih Jauh)

Gambar 5.16 merupakan ilustrasi reaksi kimia air gambut terhadap unsur *asphaltenes* teroksidasi. Ilustrasi reaksi kimia air gambut terhadap unsur *asphaltenes* teroksidasi pada Gambar 5.16 dapat dijabarkan dengan persamaan reaksi kimia sebagai berikut.



Hasil persamaan reaksi kimia tersebut menunjukkan *Asphaltenes* teroksidasi terdiri dari unsur karbon (C), hidrogen (H), sulfoksida (S) dan oksigen (O). *Asphaltenes* bereaksi dengan $\frac{7}{2}$ H (hidrogen) dimana $\frac{7}{2}$ merupakan angka koefisien. Reaksi kimia air gambut *asphaltenes* teroksidasi mengakibatkan berkurangnya unsur oksigen pada *asphaltenes* dimana kedudukan unsur oksigen (O) digantikan oleh unsur hidrogen (H). Sehingga semakin banyaknya unsur H mengakibatkan mempercepat terjadinya penuaan (*aging*) pada beton aspal. Penuaan

(*aging*) beton aspal mengakibatkan proses terjadinya kerusakan disintegrasi semakin cepat, sehingga air yang menginfiltrasi kedalam lapisan beton aspal membentuk deformasi, mengalami pengelupasan (*delamination*), dan menimbulkan lubang (*potholes*). Namun untuk hasil yang lebih *valid* perlu dilakukan konfirmasi lebih lanjut.

Ilustrasi terhadap struktur kimia aspal dikarenakan struktur molekul aspal yang kompleks dan susunan kimianya yang selalu berubah menyebabkan sulitnya memprediksi kinerja dan sifat – sifat fisik aspal berdasarkan analisa kimianya (Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah, SN:47966304).

Sarjono (2011) menyatakan penyebab kerusakan dini perkerasan aspal atau lentur pada ruas jalan Dayun I – Dayun II di Kabupaten Siak dikarenakan faktor lingkungan yaitu rembesan air diatas lapis kedap (*geotextile*) mengakibatkan berkumpul dibawah permukaan perkerasan sehingga menimbulkan pelapukan (*aging*) yang membentuk retak kulit buaya (*alligator craxk*), pelepasan butiran agregat dan terjadi kerusakan berlubang (*potholes*). Hasil penelitian tersebut berbanding lurus dengan pernyataan penelitian ini bawah air dapat mempercepat terjadinya proses penuaan terutama pada air gambut dibandingkan air hujan.

Hadiastari (2018) melakukan pengujian *Cantabro Loss* pada benda uji Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11 dengan filler abu sekam padi sebesar 50% terhadap rendaman air laut dengan lama perendaman 4 hari diperoleh nilai *Cantabro loss* sebesar 25,37%. Untuk kadar filler abu sekam padi sebesar 100% diperoleh nilai *Cantabro loss* sebesar 77,09%. Sedangkan pada penelitian ini rendaman air gambut dengan durasi rendaman 4 hari nilai *Cantabro loss* sebesar 13,3%. Tingginya

persentase nilai *Cantabro Loss* pada rendaman air laut dikarenakan air laut memiliki unsur kimia garam inorganik, gas terlarut dan senyawa organik. Unsur kimia utamanya berupa khlor (Cl) sebesar 55%, natrium (Na) 31%, magnesium (Mg) 4%, kalsium (Ca) 1%, sulfur (S) 8%, dan Kalium (K) serata unsur kecil lainnya 1% (Destrina, 2015). Besarnya persentase khlor dan natrium dapat disebut natrium klorida (NaCl) bersifat basah dan berasa asin dapat mempengaruhi struktur campuran beton aspal sehingga dapat dikatakan nilai persentase kehilangan berat *Cantabro Loss* pada beton aspal akibat rendaman air laut lebih besar nilainya dibandingkan akibat rendaman air gambut.

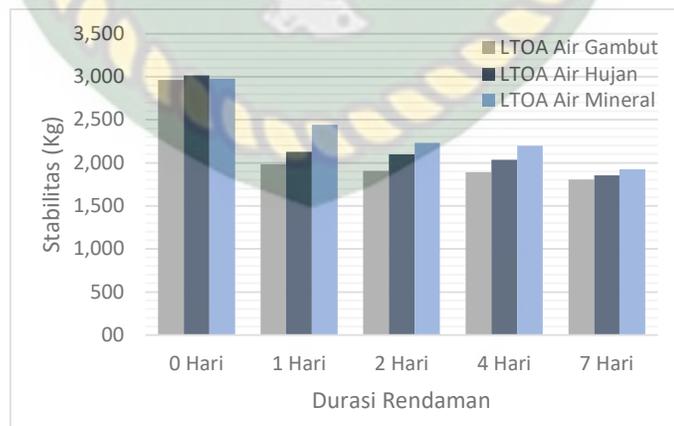
Pengujian *Cantabro Loss* pada benda uji LTOA dengan kadar aspal optimum bergradasi tengah (MR) menggunakan rendaman air selokan dengan waktu perendaman 7 hari terhadap mesin *Los Angeles* 300 putaran menunjukkan hasil persentase nilai *Cantabro Loss* sebesar 31,14% (Tjemma, 2017). Pada penelitian ini durasi rendaman 7 hari dengan 300 putaran nilai *Cantabro Loss* sebesar 23,6%. Besarnya nilai persentase *Cantabro Loss* pada air selokan dibandingkan air gambut pada penelitian ini kemungkinan diakibatkan adanya limbah kimia pabrik yang tercampur pada air selokan dan material campuran beton aspal yang dapat mempengaruhi nilai persentase *Cantabro Loss*.

Winayati dkk (2017) pemakain *filler* abu tandan kelapa sawit sebanyak 25% dan abu batu 75% dari berat total *filler* pada campuran *Asphalt Concrete – Binder Course* (AC-BC) diperoleh nilai *Cantabro Loss* sebesar 8,24%. Pada penelitian ini diperoleh nilai *Cantabro Loss* sebesar 23,6%. Tingginya nilai CL pada penelitian ini disebabkan beton aspal telah melalui proses LTOA dan penuaan akibat

rendaman air gambut sehingga menyebabkan durabilitas aspal rendah. Akan tetapi pemakaian *filler* abu tandan kelapa sawit dan abu batu dapat digunakan sebagai rujukan penelitian lebih lanjut terhadap penuaan jangka panjang (LTOA) dan penuaan akibat rendaman air gambut. Arlia (2018) pada campuran aspal porous dengan substitusi 8% gondorukem pada aspal penetrasi 60/70 diperoleh nilai *Cantabro Loss* sebesar 20,66%. Pada penelitian ini CL sebesar 23,6%, sehingga dapat dikatakan nilai CL aspal porous dengan substitusi 8% gondorukem yang belum melalui proses penuaan memiliki nilai CL yang tinggi dibandingkan aspal beton.

5.9 Hasil Pengujian Marshall Pada Benda Uji Cantabro

Pengujian Marshall pada benda uji Cantabro dimaksudkan untuk memperoleh nilai stabilitas perkerasan beton aspal. Nilai stabilitas pada benda uji cantabro merupakan kondisi perkerasan beton aspal setelah melalui proses penuaan jangka panjang *Long Term Oven Aging* (LTOA), penuaan akibat rendaman air gambut, air hujan, dan air mineral serta gaya *impact* atau abrasi *Los Angeles*. Gambar 5.17 grafik nilai stabilitas pada benda uji LTOA terhadap durasi rendaman.



Gambar 5.17 Grafik Stabilitas Benda Uji LTOA Terhadap Durasi Rendaman (Hasil Analisis, 2020)

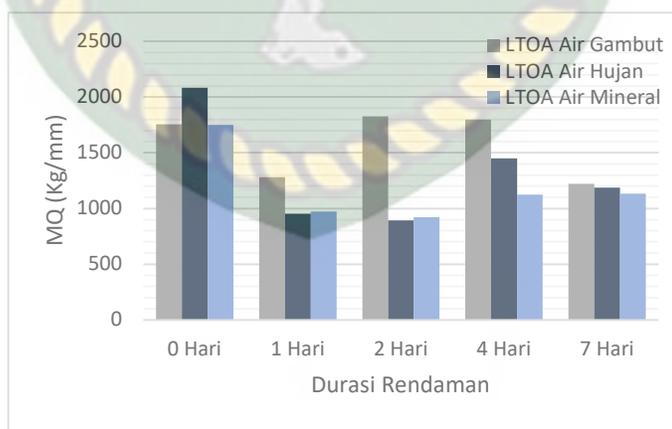
Gambar 5.17 menunjukkan nilai stabilitas benda uji LTOA terhadap durasi rendaman. Nilai stabilitas pada penelitian ini menggunakan faktor koreksi sebesar 1,09 dikarenakan volume benda uji tidak utuh/normal akibat gaya *impact*. Nilai stabilitas tertinggi tanpa rendaman (0 hari) sedangkan rendaman air gambut disetiap durasi rendaman merupakan nilai stabilitas yang terendah. Hal ini disebabkan pengaruh unsur kimia zat organik yang menyebabkan tingginya keasaman air gambut terhadap benda uji LTOA membuat ikatan antar agregat dan aspal rendah sehingga saat diberi tekanan beban pada uji Marshall kekuatan benda uji LTOA rendaman air gambut lebih rendah dibandingkan air hujan dan air mineral. Nilai stabilitas benda uji LTOA tanpa direndam 0 hari sebesar 2962 kg, 3015 kg, dan 2980 kg. Nilai stabilitas benda uji LTOA rendaman air gambut durasi 7 hari sebesar 1805 kg, air hujan sebesar 1852 kg, dan air mineral sebesar 1922 kg.

Arlia (2018) hasil karakteristik campuran aspal porous dengan substitusi 8% gendorukem pada aspal penetrasi 60/70 diperoleh nilai stabilitas sebesar 554,81 kg. nilai stabilitas tersebut lebih rendah dibandingkan penelitian ini dimana beton aspal yang telah mengalami LTOA dan penuaan akibat air gambut nilai stabilitas sebesar 1805 kg. Hal ini disebabkan besarnya rongga VITM dalam campuran aspal porous mengakibatkan stabilitas rendah dan permeabilitas tinggi.

Adiwijaya (2019) hasil kajian perbandingan nilai karakteristik Marshall pada aspal buton merek JBMA50 terhadap rendaman air laut dan air tawar. Nilai stabilitas Marshall pada durasi rendaman 30 menit dengan suhu 60°C diperoleh nilai stabilitas rendaman air tawar sebesar 1551 kg dan rendaman air laut sebesar 1272 kg. Sedangkan pada penelitian ini nilai stabilitas pada benda uji LTOA yang

telah mengalami proses penuaan jangka panjang pada campuran AC-WC atau beton aspal diperoleh nilai stabilitas pada rendaman air gambut dengan durasi rendaman 7 hari sebesar 1805 kg, air hujan sebesar 1852 kg, dan air mineral sebesar 1922 kg. Hal ini menunjukkan bahwa nilai stabilitas AC-WC atau beton aspal lebih tinggi dibandingkan nilai stabilitas aspal buton merek JBMA50. Akan tetapi hal tersebut juga dipengaruhi oleh sumber material agregat dan bahan tambah (*filler*) yang digunakan dalam campuran aspal.

Marshall Quotient (MQ) merupakan perbandingan nilai stabilitas (*stability*) terhadap nilai kelelahan (*flow*). Nilai *Marshall Quotient* yang terlalu tinggi akan menyebabkan beton bersifat kaku apabila nilai *Marshall Quotient* terlalu rendah dapat menyebabkan viskositas aspal tinggi sehingga beton aspal bersifat lentur (*fleksibilitas*). Berdasarkan pengujian Marshall pada benda uji Cantabro diperoleh nilai stabilitas dan kelelahan sehingga dapat ditentukan nilai *Marshall Quotient (MQ)*. Gambar 5.18 merupakan grafik perbandingan nilai MQ terhadap durasi rendaman benda uji LTOA pada rendaman air gambut, air hujan dan air mineral.



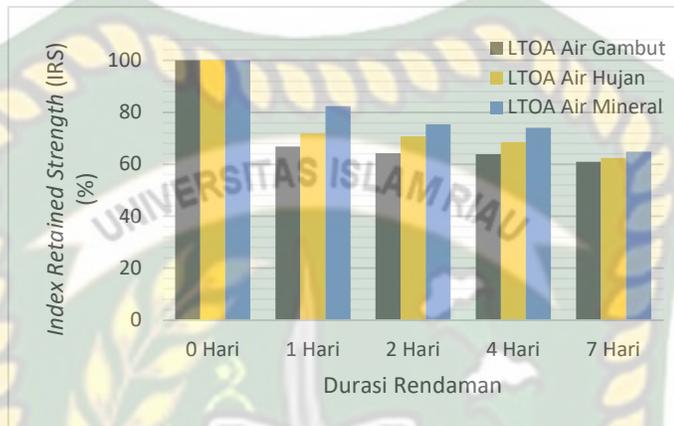
Gambar 5.18 Grafik MQ Benda Uji LTOA Terhadap Durasi Rendaman (Hasil Analisis, 2020)

Nilai *Marshall Quotient* (MQ) pada Gambar 5.18 diatas menunjukkan bahwa benda uji LTOA tanpa rendaman (0 hari) merupakan nilai tertinggi dibandingkan dengan rendaman sedangkan nilai MQ rendaman air gambut disetiap durasi rendaman merupakan nilai tertinggi dibandingkan nilai rendaman air hujan dan mineral. Tingginya nilai MQ benda uji LTOA pada rendaman air gambut dikarenakan perbandingan nilai stabilitas terhadap kelenturan (*flow*) rendah disebabkan efek keasaman air gambut yang tinggi dengan nilai pH 3 membuat daya lekat aspal antar agregat rendah dan melemahnya ikatan antar aspal dengan agregat menyebabkan durabilitas aspal menurun sehingga beton aspal bersifat kaku atau getas dan rentan terhadap kerusakan alur dan retak. Nilai MQ benda uji LTOA tanpa direndam 0 hari sebesar 2962 kg, 3015 kg, dan 2980 kg. Nilai MQ benda uji LTOA rendaman air gambut dengan durasi 7 hari sebesar 1221 kg/mm, air hujan sebesar 1186 kg, dan air mineral sebesar 1134 kg. Maka dapat dikatakan nilai MQ pada rendaman air gambut lebih bersifat kaku dibandingkan rendaman air hujan dan air mineral. Persentase kehilangan nilai MQ pada setiap durasi rendaman 7 hari sebesar 69,53% air gambut, 67,55% air hujan, dan 64,55% air mineral. Adapun batasan minimum nilai MQ berdasarkan Bina Marga 2010 sebesar 250 kg/mm.

5.10 Hasil Durabilitas Campuran AC-WC Benda Uji Cantabro

Durabilitas campuran AC-WC pada benda uji Cantabro didapatkan dengan memperoleh nilai *index retained strength* (IRS) atau indeks kekuatan sisa (IKS) yang merupakan perbandingan nilai stabilitas Marshall pada benda uji LTOA terhadap durasi rendaman air gambut, air hujan, dan air mineral. Hal ini bertujuan untuk melihat persentase kekuatan benda uji LTOA selama durasi rendaman 0, 1,

2, 4, dan 7 hari. Penentuan nilai *index retained strength* dapat dihitung dengan persamaan 3.14. Gambar 5.19 menunjukkan grafik nilai *index retained strength* (IRS) pada benda uji LTOA terhadap durasi rendaman.



Gambar 5.19 Grafik IRS Benda Uji LTOA Terhadap Durasi Rendaman (Hasil Analisis, 2020)

Pada Gambar 5.19 hasil nilai *index retained strength* (IRS) benda uji LTOA terhadap durasi rendaman diperoleh nilai IRS rendaman air gambut merupakan nilai terendah dari setiap durasi rendaman 0, 1, 2, 4, dan 7 hari, sedangkan nilai tertinggi pada rendaman air mineral. Nilai IRS durasi rendaman 1 hari pada air gambut sebesar 67%, air hujan sebesar 72%, dan air mineral sebesar 82%. Untuk Nilai IRS durasi rendaman 7 hari pada air gambut sebesar 61%, air hujan sebesar 63%, dan air mineral sebesar 65%. Syarat nilai IRS minimum sebesar 75% merupakan ketentuan persyaratan Bina Marga bahwa nilai tersebut menyatakan campuran aspal masih dianggap cukup tahan terhadap kerusakan yang disebabkan oleh pengaruh air. Oleh karena itu rendaman air gambut dan air hujan durasi rendaman 1 hari terhadap benda uji LTOA menunjukkan hasil yang tidak memenuhi persyaratan sedangkan pada air mineral memenuhi persyaratan minimum akan tetapi pada

durasi rendaman 7 hari air mineral tidak memenuhi persyaratan IRS >75%. Nilai IRS memperlihatkan bahwa semakin lama durasi rendaman maka indeks kekuatan sisa pada benda uji LTOA campuran beton aspal mengalami penurunan persentase kekuatan. Rendahnya nilai IRS pada benda uji LTOA rendaman air gambut disebabkan pengaruh tingkat keasaman yang tinggi pada air gambut.

Tahir dan Setiawan (2009) kinerja durabilitas campuran beton aspal ditinjau dari faktor variasi suhu dan lama perendaman. Lama perendaman 1, 2, 4, 6 dan 8 hari dengan suhu 90°C, 100°C, 120°C, dan 130°C menunjukkan hasil nilai indeks kekuatan sisa (IKS) menurun dengan meningkatnya durasi rendaman. Berdasarkan penelitian ini menyatakan pernyataan yang sama bahwa nilai *index retained strength* (IRS) atau indeks kekuatan sisa (IKS) akan mengalami penurunan semakin lamanya durasi rendaman. Diperolehnya nilai *index retained strength* (IRS) pada benda uji LTOA terhadap rendaman air gambut, air hujan dan air mineral, maka dapat dilakukan penentuan nilai durabilitas campuran AC-WC pada benda uji Cantabro. Penentuan nilai durabilitas dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan aspal seberapa baik dalam mempertahankan sifat karakteristiknya akibat proses penuaan.

Sukirman (2016) durabilitas merupakan kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan, gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Penentuan nilai durabilitas dihitung berdasarkan nilai indeks durabilitas pertama (IDP) pada persamaan 3.15 dan indeks durabilitas kedua (IDK) pada persamaan 3.17.

Persentase nilai penurunan kekuatan pada indeks durabilitas pertama (IDP) disimbolkan dengan huruf “r” untuk persentase nilai penurunan kekuatan pada indeks durabilitas kedua (IDK) disimbolkan dengan huruf “a” dan persentase kekuatan yang tersisa dari indeks durabilitas kedua disimbolkan dengan huruf “Sa”. Nilai indeks durabilitas pertama dan kedua apabila bernilai positif maka mengindikasikan kehilangan kekuatan sebaliknya jika bernilai negatif mengindikasikan penambahan kekuatan. Nilai indeks durabilitas kedua memperlihatkan penurunan kekuatan satu hari. Tabel 5.7 menunjukkan nilai indeks durabilitas pertama dan kedua pada campuran AC - WC benda uji Cantabro dengan jenis rendaman air gambut.

Tabel 5.7 Nilai Durabilitas Campuran AC-WC Benda Uji Cantabro Rendaman Air Gambut (Hasil Analisis, 2020)

LTOA	Stabilitas	IRS	Si-Si+1	ti	ti+1-ti	ti+ti+1	2tn	IDP		IDK			
								r	R	a	Sa	A	SA
	(kg)	(%)	(%)	(hari)	(hari)	(hari)	(hari)	(%)	(Mpa)	(%)	(%)	(kg)	(kg)
L0	2962	100		0									
L1	1981	67	33	1	1	1		33	982	31			
L2	1905	64	3	2	1	3		3	76	2			
L3	1893	64	0	4	2	6		0	6	0			
L4	1805	61	3	7	3	11	14	1	29	1			
Indeks Durabilitas :								37	1093	34	66	997	1966

Tabel 5.7 merupakan nilai durabilitas campuran AC-WC benda uji Cantabro rendaman air gambut. Nilai stabilitas benda uji Cantabro atau LTOA durasi rendaman air gambut 1 hari (L1) sebesar 1981 kg dengan nilai IRS sebesar 67%, nilai stabilitas durasi rendaman 7 hari (L4) sebesar 1805 kg dengan nilai IRS sebesar 61%. Sehingga diperoleh nilai indeks durabilitas pertama (IDP) sebesar 37% dan nilai indeks durabilitas kedua (IDK) sebesar 34%, hal ini menunjukkan

nilai durabilitas beton aspal rendaman air gambut mengalami penurunan kekuatan. Tabel 5.8 menunjukkan nilai indeks durabilitas pertama dan kedua pada campuran AC - WC benda uji Cantabro dengan jenis rendaman air hujan.

Tabel 5.8 Nilai Durabilitas Campuran AC-WC Benda Uji Cantabro Rendaman Air Hujan (Hasil Analisis, 2020)

LTOA	Stabilitas as (kg)	IRS (%)	Si-Si+1 (%)	ti (hari)	ti+1-ti (hari)	ti+ti+1 (hari)	2tn (hari)	IDP		IDK			
								r (%)	R (Mpa)	a (%)	Sa (%)	A (kg)	SA (kg)
L0	3015	100		0									
L1	2127	72	28	1	1	1		28	850	26			
L2	2098	71	1	2	1	3		1	30	1			
L3	2033	69	2	4	2	6		1	33	1			
L4	1852	63	6	7	3	11	14	2	61	1			
Indeks Durabilitas :								32	974	30	70	890	2125

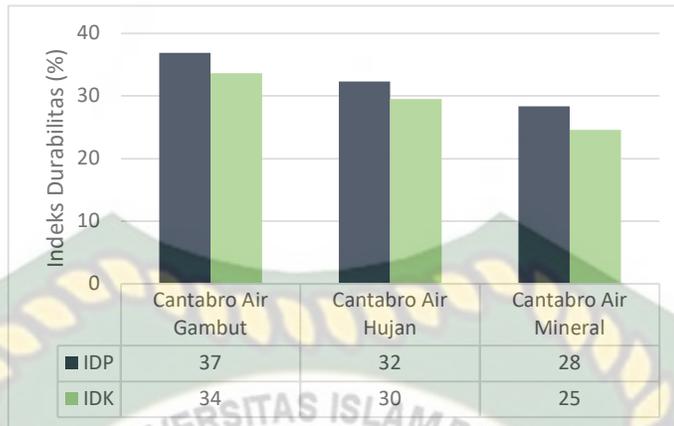
Tabel 5.8 merupakan nilai durabilitas campuran AC-WC benda uji Cantabro rendaman air hujan. Nilai indeks durabilitas pertama dan kedua diperoleh dari nilai stabilitas, *index retained strength* (IRS), persentase kekuatan sisa pada waktu dan periode perendaman. Nilai stabilitas benda uji Cantabro atau LTOA durasi rendaman air hujan 1 hari (L1) sebesar 2127 kg dengan nilai IRS sebesar 72%, nilai stabilitas durasi rendaman 7 hari (L4) sebesar 1852 kg dengan nilai IRS sebesar 63%. Sehingga diperoleh nilai indeks durabilitas pertama (IDP) sebesar 32% dan nilai indeks durabilitas kedua (IDK) sebesar 30%, hal ini menunjukkan nilai durabilitas beton aspal rendaman air hujan mengalami penurunan kekuatan. Tabel 5.9 menunjukkan nilai indeks durabilitas pertama dan kedua pada campuran AC - WC benda uji Cantabro dengan jenis rendaman air mineral.

Tabel 5.9 Nilai Durabilitas Campuran AC-WC Benda Uji Cantabro Rendaman Air Mineral (Hasil Analisis, 2020)

LTOA	Stabilitas	IRS	Si-Si+1	ti	ti+1-ti	ti+ti+1	2tn	IDP		IDK			
								r	R	a	Sa	A	SA
	(kg)	(%)	(%)	(hari)	(hari)	(hari)	(hari)	(%)	(Mpa)	(%)	(%)	(kg)	(kg)
L0	2980	100		0									
L1	2442	82	18	1	1	1		18	523	16			
L2	2232	75	7	2	1	3		7	212	6			
L3	2197	74	1	4	2	6		1	18	1			
L4	1922	65	9	7	3	11	14	3	92	2			
Indeks Durabilitas :								28	844	25	75	731	2248

Tabel 5.9 merupakan nilai durabilitas campuran AC-WC benda uji Cantabro rendaman air mineral. Nilai indeks durabilitas pertama dan kedua diperoleh dari nilai stabilitas, *index retained strength* (IRS), persentase kekuatan sisa pada waktu dan periode perendaman. Nilai stabilitas benda uji Cantabro atau LTOA durasi rendaman air mineral 1 hari (L1) sebesar 2442 kg dengan nilai IRS sebesar 82%, nilai stabilitas durasi rendaman 7 hari (L4) sebesar 1922 kg dengan nilai IRS sebesar 65%. Sehingga diperoleh nilai indeks durabilitas pertama (IDP) sebesar 28% dan nilai indeks durabilitas kedua (IDK) sebesar 25%, hal ini menunjukkan nilai durabilitas beton aspal rendaman air mineral mengalami penurunan kekuatan

Nilai durabilitas campuran AC-WC benda uji Cantabro terhadap rendaman air gambut, air hujan dan air mineral dengan durasi rendaman 0, 1, 2, 4, dan 7 hari diperoleh nilai indeks durabilitas pertama (IDP) tertinggi pada benda uji Cantabro rendaman air gambut sebesar 37%, air hujan sebesar 32%, dan air mineral sebesar 28%. Untuk nilai indeks durabilitas kedua (IDK) diperoleh nilai tertinggi pada benda uji Cantabro rendaman air gambut sebesar 34%, air hujan sebesar 30%, dan air mineral sebesar 25%. Gambar 5.20 merupakan grafik persentase indeks durabilitas terhadap benda uji Cantabro air gambut, air hujan dan air mineral.



Gambar 5.20 Grafik Persentase Indeks Durabilitas Campuran AC-WC Benda Uji Cantabro (Hasil Analisis, 2020)

Semakin tinggi nilai indeks durabilitas pertama dan kedua maka daya tahan beton aspal terhadap beban lalu lintas semakin rendah, sehingga aspal dapat mengalami berbagai kerusakan. Kerusakan pada perkerasan lentur biasanya dikelompokkan dalam tiga mekanisme utama yaitu retak (*cracking*), disintegrasi, dan deformasi permanen (Wiyono, 2009). Tingginya nilai durabilitas pertama dan kedua beton aspal (AC-WC) pada benda uji Cantabro rendaman air gambut akan menyebabkan terjadinya kerusakan yang terparah dibandingkan rendaman air hujan dan air mineral. Hal ini disebabkan pengaruh tingginya keasaman pada air gambut yang menyebabkan nilai durabilitas beton aspal rendah.

Tjemma (2017) penelitian pengaruh proses penuaan dan rendaman air banjir terhadap durabilitas campuran ac-wc dengan bahan perekat aspal penetrasi 60/70 berdasarkan uji Cantabro pada rendaman air selokan dengan durasi rendaman 0, 1, 2, 4, dan 7 hari diperoleh nilai indeks durabilitas pertama kondisi benda uji LTOA sebesar 36,24% dan indeks durabilitas kedua sebesar 32,26%. Pada penelitian tersebut menunjukkan besarnya nilai IDP rendaman selokan mendekati nilai IDP

rendaman air gambut sebesar 37% begitu juga dengan nilai IDK sebesar 34%. Hal ini disebabkan adanya pengaruh unsur kimia pada air selokan dan material campuran beton aspal yang digunakan.



BAB VI

KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Hasil Penelitian pengaruh proses penuaan pada rendaman air gambut terhadap durabilitas campuran AC-WC berdasarkan uji Cantabro dapat ditarik kesimpulan berdasarkan tujuan dari penelitian sebagai berikut.

1. Nilai Cantabro pada benda uji *Long Term Oven Aging* (LTOA) durasi rendaman 0, 1, 2, 4, dan 7 hari. Diperoleh nilai Cantabro tertinggi durasi rendaman 7 hari air gambut sebesar 23,6%, air hujan sebesar 20,1%, dan air mineral sebesar 17,7% memenuhi persyaratan nilai *Cantabro Loss* < 25%. Nilai stabilitas terendah rendaman air gambut sebesar 1805 kg, air hujan sebesar 1852 kg, dan air mineral sebesar 1922 kg. Nilai stabilitas rendaman air gambut disetiap durasi rendaman merupakan yang terendah. Nilai indeks durabilitas pertama (IDP) rendaman air gambut sebesar 37%, air hujan sebesar 32%, dan air mineral sebesar 28%. Indeks durabilitas kedua (IDK) rendaman air gambut sebesar 34%, air hujan sebesar 30%, dan air mineral sebesar 25%. Durabilitas terendah pada rendaman air gambut.
2. Unsur reaksi kimia penyebab penuaan jangka panjang (*Long Term Oven Aging* (LTOA)) disebabkan reaksi oksidasi *asphaltenes*, karena bertambahnya unsur oksigen (O) pada *asphaltenes* yang mengakibatkan hilangnya nitrogen (N) dan rantai alkil (R). Rantai alkil (R) yang hilang pada unsur *aromatic* menjadi keton (-C=O) dan unsur sulfur menjadi sulfoksida (-S=O). Unsur reaksi kimia

penyebab penuaan akibat air gambut dipengaruhi zat organik yang mempengaruhi nilai pH tergantung banyaknya senyawa lignin. Lignin menghasilkan asam fenolat (C_6H_4OH) dan senyawa karboksilat ($-COOH$) bersifat sebagai asam lemah sehingga dapat terdisosiasi dan menghasilkan ion H. semakin banyak unsur H mengakibatkan mempercepat terjadinya penuaan (*aging*) pada beton aspal. Hasil tersebut berbanding lurus dengan penelitian Sarjono (2011) bahwa air mengakibatkan penuaan pada perkerasan lentur.

3. Unsur kimia air penyebab terjadi proses penuaan berupa unsur zat organik yang terkandung didalam air. Tingginya tingkat keasaman (pH) pada air gambut dipengaruhi oleh kandungan senyawa lignin (zat kayu) yang ada pada zat organik. Nilai pH rendah maka zat organik akan cenderung tinggi maupun rendah tergantung persentase banyaknya senyawa lignin. Nilai Fe dipengaruhi oleh reaksi oksidasi molekul zat organik yang mempengaruhi sifat keasaman pada air semakin tinggi keasaman pada air maka Fe semakin tinggi. Nilai Na pada air gambut disebabkan tingginya zat organik air gambut dikarenakan Na merupakan komponen yang dapat dijumpai dari tumbuh-tumbuhan. Nilai pH air gambut sebesar 3, air hujan sebesar 5,3, dan air mineral sebesar 7. Nilai Na air gambut sebesar 78,81 mg/l, air hujan sebesar 0,284 mg/l, dan air mineral sebesar 0,568 mg/l. Nilai Fe air gambut sebesar 0,47 mg/l, air hujan sebesar 0,0054 mg/l, dan air mineral sebesar $< 0,0040$ mg/l. Nilai zat organik air gambut sebesar 148,52 mg/l, air hujan sebesar 1,75 mg/l, dan air mineral sebesar $< 0,1093$ mg/l.

6.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Waktu perendaman dapat dilakukan lebih lama untuk mendapatkan detail pengaruh penuaan akibat rendaman air gambut, air hujan dan air mineral.
2. Sebaiknya dilakukan variasi perbandingan pengaruh suhu pada benda uji *Long Term Oven Aging* (LTOA).
3. Sebaiknya proses pemadatan campuran beton aspal dilakukan dengan alat listrik Marshall compactor.
4. Sebaiknya dilakukan pengambilan sampel dilapangan dan diuji karakteristik penuaan pada jalan daerah gambut terhadap nilai durabilitas.
5. Untuk mengatasi kerusakan perkerasan lentur akibat air gambut dibutuhkan bahan tambahan atau zat adiktif yang dapat menetralsir unsur hidrogen (H).

DAFTAR PUSTAKA

- Adiwijaya, S., 2019, Kajian Perbandingan Nilai Karakteristik Marshall Pada Aspal Buton (Asbuton) Pengaruh Dari Rendaman Air Laut dan Air Tawar Di Laboratorium, Tesis Magister, Program Studi Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Islam Riau, Riau.
- American Society For Testing and Material.*, 1974, *Annual Book of ASTM Standards*.
- Andriesse, J.P., 1974, *Nature and Management of Tropical Peat Soil, FAO Soils Bulletin 5:5 Roma*.
- Andriesse, J.P., 1988, *Nature and Management of Tropical Peat Soil, FAO Soils, Roma*.
- Arlia, L., 2018, Karakteristik Campuran Aspal Porus Dengan Substitusi Gondorukem Pada Aspal Penetrasi 60/70, Tesis Magister, Program Studi Teknik Sipil Program Pascasarjana, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 23111.
- Asiyanto., 2010, Metode Konstruksi Proyek Jalan, Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press), Jalan Salemba, 10430, Telp. 31935-373, Fax. 31930-172, Jakarta.
- Asphalt Institute., 1989, *The Asphalt Handbook, Manual Series No.4 (MS-4) Edition, U.S. Library of Congress Catalog Card No.88-62536*.
- Asphalt Institute., 1996, *Asphalt in Pavement Maintenance, Manual Series No.16 (MS-16), Third Edition, Kentucky, USA*.
- Asphalt Institute., 2001, *Construction of Hot Mix Asphalt Pavement, Manual Series No.22 (MS-22), Second Edition, Kentucky, USA*.
- Barchia, M.F., 2012, Gambut Agro Ekosistem dan Transformasi Karbon, Gadjah Mada Press, Yogyakarta.
- Bell, C.A., 1989, *Summary Report On The Aging Of Asphalt-Aggregate Systems, Transportation Research Board, Vol.10, pp.1-121*.
- Bell, C.A., Wieder, A.J., dan Fellin, M.J., 1994, “*Laboratory Aging of Asphalt-Aggregate Mixtures: Field Validation*”, *Oregon State University, Corvallis, OR, USA, Research Report SHRP-A-390 Report*.
- Bina Marga., 2010, Spesifikasi Umum 2010 (Revisi 3), Kementerian Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.
- Brathaver, J.F., Petersen, J.C., Robertson, R.E., Duvall, J.J., Kim, S.S., Harnsberger, P.M., Mill, T., Ensley, E.K., Barbour, F.A., and Schabron, J.F., 1993, *Binder Characterization and Evaluation, Volume 2, Chemistry, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, DC*.
- Brown, S.F., and Scholz, T.V., 2000, *Development of Laboratory Protocols for The Ageing of Asphalt Mixtures*, 2nd Eurasphalt & Eurobitume Congress, Book I, Barcelona.
- Chang, R., 2005, Kimia Dasar Konsep – Konsep Inti, Edisi Ketiga Jilid 2, Erlangga, Jakarta.

- Corbett, L.W., 1970, *Relationship between composition and physical properties of asphalt*, *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol.39, pp.481.
- Depatemen Pekerjaan Umum., 1987, *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen*, Jakarta.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah, SN:47966304, *Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Pansa*, Buku 1 : Petunjuk Umum.
- Doyle, J.D., dan Howard, I.L., 2014, *Characterizing Dense Graded Asphalt Concrete With the Cantabro Test, Presented at the 93th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC.*
- Farcas, F., 1996, *Etude D'une Methode de Simulation du Vieillissement Sur Route des Bitumes*, *Pierre and Marie Cury University, Paris, France, in French Thesis.*
- Gurupendidikan.com., 2019, <https://www.gurupendidikan.co.id/asam-basa-dan-garam/>.
- Hadiastari, I.G., 2018, *Kinerja Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11 Dengan Filler Abu Sekam Padi Akibat Lama Rendaman Air Laut*, Tesis Magister, Program Studi Teknik Sipil Program Pascasarjana, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- Hartatik, W., Subiksa, I.GM., dan Dariah, A., 2004, *Sifat Kimia dan Fisik Tanah Gambut*, Balai Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian, 2011, Hal. 45 – 56.
- Hardiyatmo, H.C., 2009, *Pemeliharaan Jalan Raya*, Gadjah Mada *University Press*, P.O. Box 14, Jl.Bulaksumur, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2011, *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah*, Gadjah Mada *University Press*, P.O. Box 14, Jl. Bulaksumur, Yogyakarta.
- Hick., 1991, *Moisture Damage In Asphalt Concrete*, *National Cooperative Highway Research Program, Synthesis of Highway Practice 175.*
- Hoiberg, A.J., 1965, ed. *Bituminous Materials: Asphalts, Tars, and Pitches, Vol.2, Part 1.*
- Kerbs, R.D., and Walker, R.D., 1971, *Highway Materials*, *McgrawHill Book Company, New York.*
- Lee, D., 1969, *Durability and Durability Test For Paving Asphalt, A State of the Art Report*, *Iowa Highway Research Board Project HR-124.*
- Lesuer, D., 2008, *The Colloidal Structure of Bitumen, Consequences on the Rheology and on the Mechanismes of Bitumen Modification*, *Advances in Colloid and Interface Science, In Press, Corrected Proof.*
- Llanos, S., Cortes, F.B., and Franco, C.A., (2018), *Effect of The Asphaltene Oxidation Process on The Formation of Emulsions of Water in Oil (W/O) Model Solutions*, *Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellin, Kra 80 No. 65-223, 050034 Medellin, Colombia.*
- Masson, J.F., Collins, P., dan Polomark, G., 2005, *Steric Hardening and the Ordening of Asphaltenes in Bitumen*, *Energy and Fuels, Vol.19, No.1, pp.120-122.*

- Nicholls, J.C., McHale, M.J., dan Griffiths, R.D., 2008, *Best Practice Guide for Durability of Asphalt Pavements, Road Note 42, Transport Research Laboratory, Workingham, Berkshire, United Kingdom.*
- Nurhudah., Dato, A.K., dan Parung, H., 2009, Studi Genangan Air Terhadap Kerusakan Jalan Di Kota Gorontalo, Simposium XII FSTPT, Universitas Kristen Petra Surabaya.
- Oglesby, C.H., dan Hicks, R.G., 1996, Teknik Jalan Raya, Erlangga, Jl. H. Baping Raya No.100, Ciracas, Jakarta 13740.
- Pechenyi, B.G., dan Kuznetsov, O.I., 1990, *Formation of Equilibrium Structures in Bitumens, Chemistry and Technology of Fuels and Oils, Vol.26, No.7, pp.372-376.*
- Petersen, J.C., 1984, "Chemical Composition of Asphalt as Related to Asphalt Durability State of the Art", *Transportation Research Record 999, Transportation Research Board, 13-30.*
- Petersen, J.C., Robertson, R.E., Branthaver, J.F., Harsenberg, P.M., Duvall, J.J., Kim, S.S., Anderson, D.A., Christiansen, D.W., Bahia, H.U., 1994, *Binder Characterization and Evaluation, Strategic Highway Research Program, Vol.1.*
- Pfeiffer, J. P., 1950, *The Properties of Asphaltic Bitumen with Reference to its Technical Applications, Elsevier, University Michigan.*
- Rahayu, I., 2009, Praktis Belajar Kimia, Visindo Media Persada, Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta.
- Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R., Lee, D.Y., dan Kennedy, T.W., 1996, *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction, National Asphalt Pavement Association Education Foundation, Lanham, MD.*
- Sarjono, Y., 2011, Prediksi Penyebab Kerusakan Dini Perkerasan Aspal/Lentur Pada Ruas Jalan Dayun I – Dayun II Di Kabupaten Siak, Tesis Magister, Program Studi Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Islam Riau, Riau.
- Standar Nasional Indonesia., 1989, Tata Cara Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) Untuk Jalan Raya.
- Standar Nasional Indonesia., 2000, Metode Pengujian Viskositas Aspal Minyak Dengan Alat Brookfield Termosel.
- Standar Nasional Indonesia., 2011, Tata Cara Uji Penetrasi Aspal.
- Sukirman, S., 1992, Perkerasan Lentur Jalan Raya, Nova, Bandung.
- Sukirman, S., 2016, Beton Aspal Campuran Panas, Institut Teknologi Nasional, Jl.PHH Mustafa No.23, Bandung, Kode Pos 40124.
- Suparman, L.B., 2001, *The Use of Recycled Waste Plastic in Bituminous Composite, PhD, The University of Leeds.*
- Suryanto., 2017, Durabilitas Penuaan Campuran Beton Aspal Berdasarkan Uji Cantabro, Tesis Magister, Program Studi Teknik Sipil Program Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Swiertz, D., 2010, *Asphalt Aging Characteristics, Rheological Implications and laboratory techniques, Madison, University of Wisconsin.*

- Taher, A., Yusuf, A., Hamzah, Z., dan Zaini, Z., 1991, Sumberdaya Rawa Indonesia Dalam Pengembangan Pertanian Tanaman Pangan, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, BPTP, Sukarami.
- Tahir, A., dan Setiawan, A., 2009, Kinerja Durabilitas Campuran Beton Aspal Ditinjau Dari Faktor Variasi Suhu Pemasakan dan Lama Perendaman, Jurnal SMARTTek, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, Palu.
- Texas Department Of Transportation., 2014, *Test Procedure for Cantabro Loss, TxDOT Designation: Tex-245-F.*
- Tjemma, S.L., 2017 Pengaruh Proses Penuaan dan Rendaman Air Banjir Terhadap Durabilitas Campuran AC-WC dengan Bahan Perikat Aspal Penetrasi 60/70 Berdasarkan Uji Cantabro, Tesis Magister, Program Studi Teknik Sipil Program Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Totomihardjo, S., 1995, Bahan dan Struktur Jalan Raya, Dosen Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Traxler, R.N., 1961, *Relation Between Asphalt Composition and Hardening by Volatilization and Oxidation, Proceedings of Association of Asphalt Paving Technologists, Vol.30, pp.359-377.*
- Traxler, R.N., 1963, *Proc. AAPT. 32: 44.*
- Watson, D.E., Moore, K.A., Williams, K., dan Cooley, L.A., 2003, *Refinement of New Generation Open-Graded Friction Course Mix Design, Transportation Research Record 1832, Transportation Research Board, Washington, DC.*
- Welborn, J.Y., 1979, *Relationship of Asphalt Cement Properties to Pavement Durability, National Cooperative Highway Research Program, Synthesis 59, Transportation Research Board, Washington, DC, USA.*
- Widjaya Adhi., 1995, Pengelolaan Tanah dan Air Dalam Pengembangan Sumberdaya Lahan Rawa Untuk Usaha Tani Berkelanjutan dan Berwawasan Lingkungan, Karang Agung Ulu, Sumatera Selatan.
- Wignall A., Peters., Kendrick., Ancill, R., dan Copson, R., 2003, *Proyek Jalan Teori Dan Praktek, Edisi Keempat, Erlangga.*
- Wild Water Indonesia Region Riau., 2017, <http://wildwaterindonesia.org/hutan-rawa-gambut-riau/> Badan Pusat Statistik Provinsi Riau., 2017, <https://riau.bps.go.id/statictable/2017/01/17/254/-panjang-jalan-provinsi-menurut-kabupaten-kota-dan-jenis-permukaan-jalan--2015--km-.html>.
- Winayati., Rahmat, H., dan Saleh, A., 2017, Analisis Penggunaan Abu Tandan Kelapa Sawit Sebagai Filler Ditinjau Dari Nilai Keausan Perkerasan (Cantabro Test), Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning.
- WISCONSIN DOT., 2016, *Critical Factors Affecting Asphalt Concrete Durability, Advanced Asphalt Technologies, LLC, 40 Commerce Circle, Kearneysville, WV 25430, WisDOT ID no.0092-14-06.*
- Wiyono, S., 2009, *Prediksi Kerusakan Pada Perkerasan Jalan Lentur, UIR Press, Kantor Rektorat Universitas Islam Riau Lantai III, Jl.Kaharudin Nasution No. 113, Pekanbaru.*