

HERMAN FITHRA, ST., MT

DURABILITAS BETON ASPAL (AC-WC)  
AKIBAT RENDAMAN AIR LAUT

EDITOR

Burhanuddin, ST., MT

Lis Ayu Widari, ST., MT

Penerbit CV. BieNa Edukasi, Lhokseumawe, 2015

© 2015 BieNa Edukasi

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopy, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from the publisher. Requests for permission to make copies of any part of this publication should be mailed to:

Permission  
BieNa Edukasi  
Jl. Madan No. 10C Geudong  
Lhokseumawe – Aceh – Indonesia 24374  
Email: [bienaedukasi@gmail.com](mailto:bienaedukasi@gmail.com)  
Printed in Lhokseumawe, 2014

Perpustakaan Nasional RI. Data Katalog dalam Terbitan (KDT)

HERMAN FITHRA  
Durabilitas Beton Aspal (AC-WC) Akibat Rendaman Air Laut / Penulis, Herman Fithra, – Lhokseumawe: CV. BieNa Edukasi, 2015. ix, 119 hlm. Bibliografi: hlm. 117

**ISBN 978-602-1068-13-7**

Editor:  
Burhanuddin, ST., MT  
Lis Ayu Widari, ST., MT

Penerbit:  
CV. BieNa Edukasi

Layout and Cover Design:  
BieNa Art

Penerbit CV. BieNa Edukasi, Lhokseumawe, 2015

HERMAN FITHRA, ST., MT

DURABILITAS BETON ASPAL (AC-WC)  
AKIBAT RENDAMAN AIR LAUT

EDITOR

Burhanuddin, ST., MT  
Lis Ayu Widari, ST., MT

Penerbit CV. BieNa Edukasi, Lhokseumawe, 2015

## PENGANTAR PENULIS

Bismillahirrahmanirrahim

"Atas izinMu, ya ALLAH SWT  
Ku peroleh setitik ilmu, dari begitu luasnya lautan  
Izinkan aku untuk mendalami, membagi, dan  
mengajarkannya  
Sebagai amal didunia "

Syukur Alhamdulillah kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan sebuah buku referensi dengan judul "Durabilitas Beton Aspal (AC-WC) Akibat Rendaman Air Laut". Buku referensi ini adalah penelitian tentang bahan dan perkerasan jalan yang dilakukan penulis dari sekolah pascasarjana hingga sekarang. Hasil penelitian ini ada dilakukan beberapa perubahan yang dianggap relevan untuk kepentingan penerbitan dan publikasi. Shalawat dan salam kepada junjungan alam nabi besar Muhammad SAW, pendidik teladan dan guru paling mulia bagi seluruh umat manusia, para sahabat, keluarga dan seluruh umatnya yang senantiasa menjadikan beliau sebagai suri tauladan dan panutan dalam hidup.

Adapun maksud dan tujuan dari penerbitan dan publikasi tulisan ini untuk bahan referensi bagi mahasiswa dan alumni yang terlibat dalam dunia konstruksi jalan raya, khususnya perkerasan aspal panas. Sehingga buku ini dapat dijadikan sebagai pedoman membuat *design mix formula* di laboratorium dan menguji keawetan campuran aspal panas.

Penelitian ini dapat diselesaikan dan diterbitkan sebagai sebuah buku referensi berkat bantuan dari

Bapak Dr. Ir. Latif Budi Suparma, M.Sc selaku pembimbing. Penerbitan buku ini dapat direalisasikan juga berkat bantuan Bapak Burhanuddin, ST., MT dan Ibu Lis Ayu Widari, ST., MT selaku editor.

Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada pihak-pihak yang telah membantu penerbitan buku referensi ini. Dengan segala kerendahan hati yang tulus penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ir. T. Hafli, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh dan Bapak Fasdarsyah, ST., MT selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh yang telah memberikan dorongan moril penyelesaian penulisan buku referensi ini. Pendapat saran dan koreksi masih tetap diterima, yang akan digunakan sebagai bahan untuk menyempurnakan penulisan di masa yang akan datang.

Akhirnya hanya kepada Allah SWT penulis berserah diri, kepada-Nya kita berlindung semoga selalu berada dalam ridha-Nya. Semoga referensi ini bermanfaat. Amin Ya Rabbal Alamin.

Lhokseumawe, Maret 2015

Penulis

**Herman Fithra**

## PENGANTAR EDITOR

Bismillahirrahmanirrahim

Banyak penelitian yang dilakukan oleh para dosen di Indonesia belum dipublikasi secara nasional maupun internasional. Umumnya penelitian yang dilakukan oleh dosen masih bersifat lokal dan disimpan di perpustakaan masing-masing. Penelitian yang dipublikasi secara luas membutuhkan perjuangan tiada henti sampai dengan penerbitannya.

Buku referensi yang merupakan hasil penelitian dari Sdr. Herman Fithra diharapkan menjadi pengayaan khasanah keilmuan dan perlu didukung agar menjadi inspirasi untuk menulis buku-buku berikutnya. Dalam melakukan editing buku referensi ini, editor tidak mengalami kesulitan yang berarti disebabkan naskah aslinya sudah baik dan lengkap. Penelitian ini sudah mendapatkan bimbingan dari dosen-dosen yang lebih berpengalaman, sehingga proses editing menjadi lebih cepat.

Buku referensi ini dapat dijadikan sebagai bahan literatur untuk penelitian sejenis dan dapat juga dipakai sebagai bahan referensi dalam mengasuh mata kuliah Bahan dan Perkerasan Jalan maupun Lapangan Terbang. Begitu juga bagi para peneliti yang akan melanjutkan penelitian mengenai durabilitas aspal campuran panas dari berbagai kondisi lingkungan dan iklim yang ada.

Terakhir semoga buku referensi ini bermanfaat bagi mahasiswa, praktisi dan dosen yang mengampu mata kuliah di bidang transportasi khususnya bahan dan perkerasan jalan. Editor memohon maaf atas segala kekurangan dalam proses editing, jika masih

terdapat kesalahan disana-sini. Segala kelemahan adalah milik editor dan kesempurnaan hanya milik Allah SWT.

Lhokseumawe, Maret 2015

Editor

**Burhanuddin, ST., MT**  
**Lis Ayu Widari, ST., MT**

## SINOPSIS

Negara Indonesia adalah negara kepulauan yang terdiri dari beribu-ribu pulau yang tersebar dari Sabang sampai Merauke dengan panjang pantai mencapai puluhan ribu kilometer, sebagian dari pulau-pulau tersebut dihuni oleh masyarakat yang tinggal di daerah pesisir. Wilayah pesisir merupakan daerah yang sangat intensif dimanfaatkan untuk kegiatan manusia. Jalan-jalan yang berada sekitar pesisir sangat mungkin digenangi air laut akibat fluktuasi muka air laut. Jalan-jalan yang digenangi air laut mempengaruhi tingkat durabilitas perkerasan beton aspal. Oleh karena itu perlu diketahui seberapa besar pengaruh rendaman air laut terhadap durabilitas perkerasan beton aspal, apakah pengaruhnya masih dalam batas yang diizinkan.

Buku referensi dari hasil penelitian ini membahas tentang tata cara membuat *design mix formula* dan menguji durabilitas campuran panas yang dimodifikasi dengan cara rendaman air laut. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui indek kekuatan sisa beton aspal campuran panas setelah direndam air laut selama periode waktu tertentu. Dalam rangka memenuhi kebutuhan akan buku-buku hasil penelitian yang mengulas mengenai campuran aspal panas, penulis mengharapkan agar buku referensi ini nantinya akan menjadi sebagai buku pegangan bagi para mahasiswa yang sedang mendalami bahan dan perkerasan jalan.

Karya penelitian ini dimaksudkan sebagai pengantar yang mengulas tentang tata cara memeriksa material aspal dan agregat, mencampur aspal dan agregat dalam campuran panas di laboratorium (*design mix formula*) dan tata cara menguji *Marshall Standard*

dan *Marshall Immersion*, sebagai standar untuk melihat nilai stabilitas aspal campuran panas. Sehingga buku referensi ini dapat dijadikan sebagai pegangan disamping buku-buku lainnya.

# DAFTAR ISI

	Halaman
<b>PENGANTAR PENULIS</b> .....	i
<b>PENGANTAR EDITOR</b> .....	iii
<b>SINOPSIS</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Batasan Penelitian .....	3
1.6 Hasil Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Lapisan Perkerasan Lentur .....	5
2.2 Beton Aspal .....	8
2.3 Aspal .....	14
2.4 Agregat .....	17
2.5 Bahan Pengisi ( <i>filler</i> ) .....	21
2.6 Durabilitas .....	24
2.7 Stabilitas .....	28
2.8 Pelapukan .....	30
2.9 Air Laut .....	31
2.10 Pengaruh Air Laut Terhadap Campuran Beraspal...	32
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b>	
3.1 Aspal .....	34
3.2 Agregat .....	35
3.3 Bahan Pengisi ( <i>filler</i> ) .....	36
3.4 Air Laut .....	36
3.5 Gradasi Agregat .....	36
3.6 Karakteristik Campuran Beton Aspal .....	38
3.7 Pengujian Marshall .....	39
1. Penentuan Kerapatan ( <i>density</i> ) .....	40
2. Stabilitas ( <i>stability</i> ) .....	40
3. Pengujian Kelelehan ( <i>flow</i> ) .....	40

4.	<i>Marshall Quotient</i> .....	41
5.	Volume pori .....	41
6.	Film aspal .....	41
3.8	Sifat Volumetrik dari Beton Aspal Campuran Panas .....	44
1.	BJ. Maks.Beton aspal teorities ( $G_{mm}$ ) .....	45
2.	Berat jenis <i>bulk</i> beton aspal padat ( $G_{mb}$ ) .....	46
3.	Volume pori dalam agregat campuran ( <i>VMA</i> ) .....	47
4.	Volume pori dalam beton aspal padat ( <i>VITM</i> ) .....	48
5.	Volume pori antara butir agregat terisi aspal ( <i>VFWA</i> ) .....	49
6.	Kadar aspal terabsorsi ke dalam pori agregat ( $P_{ab}$ ) .....	50
7.	Kadar aspal efektif yang menyelimuti agregat ( $P_{ae}$ ) .....	50
3.9	Durabilitas .....	51
1.	Indeks kekuatan sisa ( <i>index of retained strength</i> ) .....	52
2.	Indeks durabilitas .....	53
3.10	Periode Rendaman .....	55
 <b>BAB IV PROSEDUR PENELITIAN</b>		
4.1	Bahan Penelitian .....	58
4.2	Peralatan Penelitian .....	58
4.3	Perancangan Benda Uji Penelitian .....	60
1.	Target gradasi penelitian .....	60
2.	Variasi benda uji penelitian .....	61
3.	Jumlah benda uji penelitian .....	63
4.4	Variasi Rendaman Benda Uji .....	64
4.5	Pembuatan Benda Uji .....	65
4.6	Pengujian Benda Uji .....	66
4.7	Bagan Alir Penelitian .....	67
 <b>BAB V HASIL PENELITIAN</b>		
5.1	Pengujian Bahan .....	70
1.	Pengujian aspal keras AC 60/70 .....	70
2.	Pengujian agregat .....	71
5.2	Penentuan Kadar Aspal Optimum .....	72
1.	Parameter Marshall dan sifat volumetrik .....	72
2.	Kadar aspal optimum (KAO) .....	72

3. Tebal lapisan film aspal pada kadar aspal optimum .....	73
5.3 Pengujian Standar Marshall .....	74
5.4 Pengujian Durabilitas ( <i>Marshall immersion</i> ) ....	74
5.5 Pengujian Durabilitas ( <i>immersion modification</i> ) ...	75
1. Indeks durabilitas .....	77
2. Tebal lapisan film aspal .....	78

## **BAB VI PEMBAHASAN**

6.1 Pengujian Bahan .....	79
1. Pengujian aspal .....	79
2. Pengujian agregat .....	79
6.2 Formula Perancangan Campuran .....	80
1. Pengaruh kadar aspal terhadap kepadatan ...	80
2. Pengaruh kadar aspal terhadap <i>VMA</i> .....	82
3. Pengaruh kadar aspal terhadap <i>VITM</i> .....	83
4. Pengaruh kadar aspal terhadap <i>VFWA</i> ....	84
5. Pengaruh kadar aspal terhadap stabilitas ....	85
6. Pengaruh kadar aspal terhadap kelelahan ....	87
7. Pengaruh kadar aspal terhadap <i>MQ</i> .....	87
8. Kadar aspal optimum (KAO) .....	88
9. Tebal lapisan film aspal .....	90
6.3 Pengujian Durabilitas .....	91
1. Pengaruh rendaman terhadap stabilitas ....	93
2. Pengaruh rendaman terhadap kelelahan ....	96
3. Pengaruh rendaman terhadap <i>Marshall Quotient</i> .....	98
4. Pengaruh kadar aspal terhadap lapisan film aspal .....	101
5. Pengaruh tebal <i>BFT</i> terhadap potensi durabilitas .....	102
6.4 Tinjauan Terhadap Hasil Penelitian Sebelumnya ...	107
6.5 Perbandingan Rendaman Air Murni dengan Air laut	109
6.6 Rangkuman Pembahasan .....	110

## **BAB VII KESIMPULAN DAN REKOMENDASI**

7.1 Kesimpulan .....	114
7.2 Saran .....	115

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	117
-----------------------------	-----

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Negara Indonesia adalah negara kepulauan yang terdiri dari beribu-ribu pulau yang tersebar dari Sabang sampai Merauke dengan panjang pantai mencapai puluhan ribu kilometer, sebagian dari pulau-pulau tersebut dihuni oleh masyarakat yang tinggal di daerah pesisir. Wilayah pesisir merupakan daerah yang sangat intensif dimanfaatkan untuk kegiatan manusia, seperti sebagai kawasan pusat pemerintahan, pendidikan, pemukiman, industri, pertambangan, perikanan, pariwisata, pelabuhan, pangkalan militer dan lain sebagainya.

Jalan-jalan yang berada sekitar pesisir sangat mungkin digenangi air laut akibat fluktuasi muka air laut. Fluktuasi muka air laut dapat disebabkan oleh beberapa proses alam yang terjadi dalam waktu yang bersamaan. Proses alam tersebut meliputi pasang surut, kenaikan muka air karena gelombang (*wave set-up*), angin (*wind set-up*), kenaikan muka air karena tsunami, dan kenaikan muka air karena perubahan temperatur global.

Ditempat-tempat tertentu proses alam seperti pasang surut air laut sering merendami perkerasan jalan dan bila terjadi gempa yang diikuti dengan tsunami air laut bahkan dapat mencapai daratan puluhan kilometer dari tepi pantai. Periode rendaman

air laut sangat dipengaruhi posisi bulan, musim dan letak jalan itu sendiri.

Jalan-jalan yang digenangi air laut mempengaruhi tingkat durabilitas perkerasan beton aspal (*Asphalt Concrete*). Oleh karena itu perlu diketahui seberapa besar pengaruh rendaman air laut terhadap durabilitas perkerasan beton aspal, apakah pengaruhnya masih dalam batas yang diizinkan. Penelitian ini diharapkan dapat mengetahui durabilitas (*durability*) dan indeks kekuatan sisa perkerasan beton aspal lapisan aus (AC-WC) pada jalan-jalan yang digenangi air laut.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dalam penelitian ini dapat dirumuskan permasalahannya sebagai berikut:

1. Bagaimana beton aspal campuran panas setelah direndam air laut, berdasarkan karakteristik Marshall.
2. Bagaimana membuat beton aspal campuran panas yang mempunyai pengaruh minimal akibat rendaman air laut.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium transportasi dengan tujuan:

1. Mengetahui Durabilitas Beton Aspal (AC-WC) Akibat Rendaman Air Laut.
2. Mengetahui indek kekuatan sisa beton aspal campuran panas setelah direndam air laut selama periode waktu tertentu.
3. Mencari kadar aspal yang dapat menghasilkan beton aspal campuran panas paling awet (*durable*) akibat rendaman air laut.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian durabilitas pada beton aspal campuran panas akibat rendaman air laut diharapkan dapat memberi masukan kepada penyedia jasa layanan prasarana jalan tentang komposisi beton aspal campuran panas yang paling tahan terhadap pengaruh rendaman air laut.

#### 1.5 Batasan Penelitian

Mengingat beberapa keterbatasan, maka penelitian Durabilitas Beton Aspal (AC-WC) Akibat Rendaman Air Laut ini hanya dibatasi pada penelitian durabilitas dan kekuatan sisa beton aspal campuran panas setelah direndam air laut tanpa meneliti sifat-sifat kimia yang terkandung dalam air laut, penelitian ini meliputi :

1. Spesifikasi Depkimpraswil;
2. Agregat dan *filler* digunakan batu pecah dari Clereng;
3. Aspal hasil produksi Pertamina AC 60/70;
4. Air laut untuk rendaman,
5. Pemeriksaan di laboratorium dengan Marshall Test untuk mengetahui parameter Marshall (*density*, *stabilitas*, *flow*, VMA, VITM, VFWA, dan *MQ*)
6. Pemeriksaan di laboratorium dengan test rendaman (*immersion test*) untuk melihat potensi durabilitas.

#### 1.6 Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan pembuatan benda uji dengan variasi kadar aspal 4,5%; 5,0%; 5,5%; 6,0%; dan 6,5% dengan gradasi agregat kasar 64%, agregat halus 29%, dan *filler* 7% untuk memperoleh kadar aspal optimum (KAO). KAO menjadi

dasar pembuatan variasi benda uji, kadar aspal ditambah 0,25%, 0,5%, dan 1% dari KAO untuk melihat potensi durabilitas, dengan cara direndam dengan air laut selama ½, 1, 2, dan 3 jam setiap harinya selama 14 hari berturut-turut berdasarkan temperatur lingkungan, kemudian dilanjutkan pemeriksaan stabilitas benda uji dengan menggunakan alat Marshall. Potensi durabilitas dinilai berdasarkan indeks kekuatan sisa (IKS) dan waktu rendaman.

Diperoleh KAO sebesar 5,5% dari berat total agregat dengan nilai *VMA* sebesar 15,0%, *VITM* sebesar 5,2%, *VFWA* sebesar 65,2%, stabilitas 1220 kg, *flow* 3,5 mm, dan *MQ* 349 kg/mm, sedangkan pada kadar aspal 6,5% stabilitas 1023 kg, *flow* 4 mm, dan *MQ* 256 kg/mm. Stabilitas benda uji berdasarkan nilai KAO (5,5%) setelah direndam air laut selama ½, 1, 2, dan 3 jam berturut turut menghasilkan nilai stabilitas sebesar 1074 kg, 1045 kg, 1043 kg, dan 1037 kg. Penambahan kadar aspal 1% dari KAO (6,5%) terhadap benda uji yang direndaman air laut selama ½, 1, 2, dan 3 jam berturut turut menghasilkan nilai stabilitas sebesar 966 kg, 964 kg, 949 kg, dan 943 kg. Besarnya IKS berdasarkan KAO (5,5%) setelah benda uji direndam air laut selama ½, 1, 2, dan 3 jam berturut turut menghasilkan IKS 88%, 86%, 85%, dan 85%, sedangkan pada kadar aspal 6,5% setelah benda uji direndam selama ½, 1, 2, dan 3 jam berturut turut menghasilkan IKS 94%, 94%, 93%, dan 92%.

## Tinjauan Pustaka

### 2.1 Lapisan Perkerasan Lentur

Totomihardjo (2004) menyatakan lapisan perkerasan lentur adalah perkerasan yang terdiri dari bahan ikat aspal atau tanah liat dan batu. Perkerasan ini umumnya terdiri dari tiga lapisan atau lebih, yaitu : lapis permukaan, lapis pondasi dan tanah dasar. Lapis permukaan atau lapisan aus adalah bagian perkerasan yang paling atas. Fungsi lapis permukaan dapat meliputi :

1. Struktural  
Lapisan yang ikut mendukung dan menyebarkan beban kendaraan yang diterima oleh suatu perkerasan, baik beban secara vertikal maupun beban horizontal (gaya geser) untuk ini persyaratan yang dituntut ialah kuat, kokoh, dan stabil.
2. Non struktural
  - a. Lapis kedap air, mencegah masuknya air ke dalam lapisan perkerasan yang ada di bawahnya.
  - b. Menyediakan permukaan yang tetap rata, agar kendaraan dapat berjalan dan memperoleh kenyamanan yang cukup.
  - c. Membentuk permukaan yang tidak licin, sehingga tersedia koefisien gerak (*skid resistance*) yang cukup, untuk menjamin tersedianya keamanan lalulintas.

- d. Sebagai lapis aus, yaitu lapisan yang dapat aus yang selanjutnya dapat diganti lagi dengan lapisan yang baru.

*Asphalt Institute MS-5* (2001) menyatakan lapisan perkerasan lentur adalah konstruksi yang berada diatas tanah dasar dimana lapisan agregat alam dan bahan pengisi bersama-sama dengan aspal keras menyokong konstruksi sedemikian rupa. Material untuk lapisan perkerasan lentur terdiri dari aspal sebagai perekat, batu pecah, bahan pengisi (*filler*) atau kerikil.

Hendarsin (2000) menyatakan lapisan perkerasan lentur memiliki karakteristik bersifat elastis bila menerima beban, sehingga memberikan kenyamanan bagi pengguna jalan. Menggunakan bahan pengikat aspal, seluruh lapisan ikut menanggung beban, penyebaran tegangan ke lapisan tanah dasar sedemikian rupa, sehingga tidak merusak lapisan tanah dasar. Umur rencana maksimum 20 tahun dan selama umur rencana dilakukan pemeliharaan secara berkala.

Kosasih (2000) menyatakan desain struktur perkerasan lentur didasarkan pada analisis sistem lapisan dimana beban kendaraan dipikul oleh semua lapisan perkerasan sebagai satu kesatuan. Kontribusi setiap lapisan perkerasan dalam memikul beban kendaraan ditentukan oleh karakteristik bahan dan tebal dari masing-masing lapisan perkerasan lentur. Bahan perkerasan dengan kualitas yang lebih baik pada umumnya digunakan sebagai lapisan perkerasan yang lebih atas. Sedangkan lapisan-lapisan di bawahnya menggunakan bahan perkerasan dengan kualitas yang lebih rendah meskipun harus tetap lebih baik dari kualitas tanah dasar yang mendukungnya.

Sukirman (1993) menyatakan lapisan perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-

lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalulintas ke tanah dasar (*subgrade*). Guna dapat memberikan rasa aman dan nyaman bagi pemakai jalan, maka konstruksi perkerasan lentur haruslah memenuhi persyaratan lalulintas dan struktural. Adapun syarat-syarat yang dimaksudkan adalah :

#### 1. Syarat-syarat lalulintas

Konstruksi perkerasan lentur dipandang dari keamanan dan kenyamanan berlalulintas haruslah memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

- a. Permukaan rata, tidak bergelombang, tidak melendut dan tidak berlubang.
- b. Permukaan cukup kaku, sehingga tidak mudah berubah bentuk akibat beban yang bekerja di atasnya.
- c. Permukaan cukup kasar, memberikan gesekan yang baik antara ban dan permukaan jalan sehingga tidak mudah selip.
- d. Permukaan tidak mengkilat dan tidak silau jika kena sinar matahari.

#### 2. Syarat-syarat struktural

Konstruksi perkerasan jalan dipandang dari segi kemampuan memikul dan menyebarkan beban, haruslah memenuhi syarat-syarat :

- a. Ketebalan yang cukup, sehingga mampu menyebarkan beban lalulintas ke tanah dasar (*subgrade*).
- b. Kedap terhadap air, sehingga air tidak mudah meresap ke lapisan di bawahnya.
- c. Permukaan mudah mengalirkan air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya dapat cepat dialirkan.
- d. Kekakuan untuk memikul beban yang bekerja tanpa menimbulkan deformasi yang berarti.

Agar konstruksi perkerasan lentur memenuhi persyaratan berlalulintas dan struktural seperti tersebut diatas, perencanaan dan pelaksanaannya harus mencakup perencanaan tebal masing-masing lapisan perkerasan, analisis campuran bahan dan pengawasan pelaksanaan pekerjaan.

Asosiasi Pejabat Jalan Raya dan Transportasi Negara Bagian di Amerika (*American Association of State Highway Transportation Officials (AASHTO 1986)*) menyatakan lapisan perkerasan lentur secara umum terdiri dari lapisan-lapisan pokok alas jalan yang terdiri dari pondasi bawah (*subbase*), pondasi (*base*) dan lapis permukaan (*surface coarse*). Pada beberapa kasus subbase dan base akan maksimum stabil pada penggunaan material setempat.

## 2.2 Beton Aspal

Totomihardjo (2004) menyatakan beton aspal terdiri atas campuran agregat dari berbagai diameter dan aspal. Pencampuran dapat dilaksanakan secara dingin (*cold mix*) maupun secara panas (*hot mix*). Campuran panas, material aspal dipanasi sampai temperatur 155°C, agregat dipanasi sampai temperatur 165°C, dan pencampuran aspal dengan agregat pada temperatur 160°C, selanjutnya bahan digelar di lapangan. Bahan penyusun beton aspal terdiri dari aspal, agregat kasar dan halus serta bahan pengisi (*filler*).

Sukirman (2003) menyatakan beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan. Meterial-material pembentuk beton aspal dicampur di instalasi pencampuran pada temperatur tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan dan dipadatkan. Temperatur pencampuran ditentukan

berdasarkan jenis aspal yang digunakan. Jika digunakan semen aspal, maka temperatur pencampuran umumnya diantara 145°-155°C, sehingga disebut beton aspal campuran panas. Beton aspal memiliki tujuh karakteristik campuran berupa stabilitas, durabilitas, fleksibilitas, ketahanan terhadap kelelahan, kekesatan permukaan atau ketahan geser, kedap air, dan kemudahan pelaksanaan.

#### 1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi. Sebaliknya perkerasan jalan yang diperuntukkan untuk melayani lalu lintas kendaraan ringan tertentu tidak perlu mempunyai nilai stabilitas yang tinggi. Nilai stabilitas beton aspal dipengaruhi oleh:

##### a. Gesekan internal

Gesekan internal dapat berasal dari kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal. Stabilitas terbentuk dari kondisi gesekan internal yang terjadi diantara butir-butir agregat, saling mengunci dan mengisinya butir-butir agregat, dan masing-masing butir saling terikat, akibat gesekan antar butir dan adanya aspal. Kepadatan campuran menentukan pula tekanan kontak, dan nilai stabilitas campuran. Pemilihan agregat bergradasi baik atau rapat akan memperkecil rongga antara agregat, sehingga aspal yang dapat ditambahkan dalam campuran menjadi sedikit. Hal ini berakibat film

aspal menjadi tipis. Kadar aspal yang optimal akan memberikan nilai stabilitas yang maksimum.

b. Kohesi

Kohesi adalah gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya, sehingga mampu memelihara tekanan kontak antar butir agregat. Daya kohesi terutama ditentukan oleh penetrasi aspal, perubahan viskositas akibat temperatur, tingkat pembebanan, komposisi kimiawi aspal, efek dari waktu dan umur aspal. Sifat *rheologi* aspal menentukan kepekaan aspal untuk mengeras dan rapuh, yang akan mengurangi daya kohesinya.

2. Durabilitas atau keawetan

Durabilitas atau keawetan adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur.

3. Kekesatan/tahanan geser (*skid resistance*)

Kekesatan/tahanan geser (*skid resistance*) adalah kemampuan permukaan beton aspal terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir, ataupun slip. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal. Ukuran maksimum butir agregat ikut menentukan kekesatan permukaan. Dalam hal ini agregat yang digunakan tidak saja harus mempunyai permukaan yang kasar, tetapi juga mempunyai daya tahan untuk permukaannya tidak mudah menjadi licin akibat repetisi kendaraan.

#### 4. Fleksibilitas atau kelenturan

Fleksibilitas atau kelenturan adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan (*settlement*) dan pergerakan dari pondasi atau tanah dasar, tanpa terjadi retak. Penurunan terjadi akibat dari repetisi beban lalu lintas, ataupun penurunan akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat diatas tanah asli. Fleksibilitas dapat ditingkatkan dengan mempergunakan agregat bergradasi terbuka dengan kadar aspal yang tinggi.

#### 5. Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*)

Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*) adalah kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repetisi beban lalu lintas, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat tercapai jika mempergunakan kadar aspal yang tinggi.

#### 6. Kekesatan/tahanan geser (*skid resistance*)

Kekesatan/tahanan geser (*skid resistance*) adalah kemampuan permukaan beton aspal terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan adalah mendapatkan stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal. Ukuran maksimum butir agregat ikut menentukan kekesatan permukaan. Dalam hal ini agregat yang digunakan tidak saja harus mempunyai permukaan yang kasar, tetapi juga mempunyai daya tahan untuk permukaannya tidak mudah menjadi licin akibat repetisi kendaraan.

#### 7. Kedap air (*impermeabilitas*)

Kedap air (*impermeabilitas*) adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun

udara ke dalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal, dan pengupasan film/ selimut aspal dari permukaan agregat. Jumlah pori yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan dapat menjadi indikator kekedapan air campuran. Tingkat *impermeabilitas* beton aspal berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.

#### 8. Mudah dilaksanakan (*workability*)

Mudah dilaksanakan (*workability*) adalah kemampuan beton aspal campuran panas untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas aspal, kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur, gradasi, dan kondisi agregat. Revisi atau koreksi terhadap rancangan campuran dapat dilakukan jika ditemukan kesukaran dalam pelaksanaannya.

Ketujuh sifat campuran beton aspal ini tidak mungkin dapat dipenuhi sekaligus oleh satu jenis campuran. Sifat-sifat beton aspal mana yang dominan lebih diinginkan, akan menentukan jenis beton aspal yang dipilih. Hal ini sangat perlu diperhatikan ketika merancang tebal perkerasan jalan. Jalan yang melayani lalu lintas ringan, seperti mobil penumpang, sepantasnya lebih memilih jenis beton aspal yang memiliki sifat durabilitas dan fleksibilitas yang tinggi dari pada memilih jenis beton aspal dengan stabilitas tinggi, sedangkan jalan yang melayani lalu lintas berat sepantasnya lebih memilih jenis beton aspal yang memiliki sifat stabilitas tinggi. dari pada memilih jenis beton aspal dengan durabilitas dan fleksibilitas yang tinggi.

*Asphalt Institute MS-22 (2001)* menyatakan bahwa beton aspal banyak digunakan sebagai lapis permukaan untuk jalan yang menerima beban lalu lintas

yang tinggi yang tersusun dari agregat dengan gradasi menerus dan bahan ikatnya aspal yang diolah dan dicampur secara panas. Beton aspal memiliki mutu baik, bila keseluruhan campuran panas aspal keras dengan agregat kualitas baik dilakukan dengan dan kontrol yang baik, dan keseluruhannya dipadatkan menjadi sebuah campuran padat yang seragam.

Wibowo dkk (2000) menyatakan beton aspal merupakan campuran aspal dengan agregat bergradasi menerus yang dicampur pada temperatur minimum 145°C, dihamparkan, dan dipadatkan pada temperatur minimum 110°C. Berfungsi sebagai daya dukung lalulintas, pelindung lapisan di bawahnya dari cuaca dan air, lapisan aus, menyediakan permukaan jalan yang rata dan tidak licin. Bersifat tahan terhadap keausan akibat lalulintas, kedap air, memiliki nilai struktural, memiliki stabilitas tinggi, dan sangat peka terhadap penyimpangan perencanaan di laboratorium dan pelaksanaan pekerjaan di lapangan.

Whiteoak (1990) mendefinisikan beton aspal adalah campuran beraspal bergradasi rapat (*dense graded*) yang sangat cocok digunakan untuk jalan dengan beban lalulintas berat. Kekuatan dan stabilitas dari campuran beton aspal sebagian besar didapat dari ikatan saling kunci (*interlocking*) antara agregat dan sebagian kecil lainnya dari campuran mortal pasir/*filler*/aspal.

Menurut Bina Marga (1987) lapis aspal beton (LASTON) adalah merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal keras yang dicampur, dihamparkan, dan dipadatkan dalam keadaan panas pada temperatur tertentu. Pembuatan lapis aspal beton dimaksudkan untuk mendapatkan suatu lapisan permukaan atau lapis antara pada perkerasan jalan raya yang mampu memberikan sumbangan daya

dukung yang terukur serta berfungsi sebagai lapisan kedap air.

### 2.3 Aspal

Totomihardjo (2004) menyatakan aspal merupakan senyawa hidrogen (H) dan Karbon (C) yang diperoleh dari proses penyulingan minyak bumi, terdiri dari *parafins, naptene, dan aromatics*. Bahan-bahan tersebut membentuk kelompok-kelompok yang dikenal dengan sebutan:

1. *Asphaltenese*  
Kelompok ini membentuk butiran halus, berdasarkan *aromatic benzene structure* serta mempunyai berat molekul tinggi.
2. *Oils*  
Kelompok ini membentuk cairan yang melarutkan *asphaltenese*, tersusun dari *parafins (waxy)*, *cyclo paraffins (wax-free)* dan *aromatic* serta mempunyai berat molekul rendah.
3. *Resins*  
Kelompok ini membentuk cairan menyelubungi *asphaltenese* dan memiliki berat molekul sedang. Selanjutnya gabungan *resins* dan *oils* disebut *maltenese*.

Sukirman (2003) menyatakan secara garis besar komposisi kimiawi aspal terdiri dari *asphaltenese, oils*, dan *resins*. *Asphaltenese* terutama terdiri dari senyawa hidrokarbon, merupakan material berwarna hitam atau coklat tua yang tidak larut dalam *n-heptane*. *Asphaltenese* menyebar didalam larutan yang disebut *maltenes*. *Maltenes* larut dalam *heptane*, merupakan cairan kental yang terdiri dari *resins* dan *oils*. *Resins* adalah cairan berwarna kuning atau coklat tua yang memberikan sifat adhesi dari aspal, merupakan bagian

yang mudah hilang atau berkurang selama masa pelayanan jalan, sedangkan oils berwarna lebih muda merupakan media dari *asphaltenes* dan *resins*. *Maltenes* merupakan komponen yang mudah berubah sesuai perubahan temperatur dan umur pelayanan. Durabilitas aspal merupakan fungsi dari ketahanan aspal terhadap perubahan mutu kimiawi selama proses pencampuran dengan agregat, masa pelayanan, dan proses pengerasan seiring waktu atau umur perkerasan.

Menurut *Asphalt Institute MS-22 (2001)* aspal adalah berwarna hitam, material perekatnya berubah dengan konsisten dari padat sampai semipadat (lembek) pada temperatur ruang. Hidrokarbon adalah bahan dasar utama dari aspal yang umum disebut bitumen, sehingga aspal sering juga disebut bitumen. Aspal adalah material termoplastis sebab aspal akan konsisten berubah bila temperaturnya berubah. Bila dipanaskan pada temperatur tertentu aspal akan melunak menjadi suatu cairan, hingga memungkinkan untuk menjadi pembungkus butir agregat selama produksi campuran panas. Bila dalam keadaan dingin, aspal bersama-sama dengan agregat menjadi mengeras.

Hendarsin (2000) menyatakan aspal adalah campuran yang terdiri dari bitumen dan mineral, sedangkan yang dimaksud dengan bitumen adalah bahan yang berwarna coklat hingga hitam, berbentuk keras hingga cair, mempunyai sifat lekat yang baik, larut dalam karbon disulfida ( $CS_2$ ) dan karbon tetraklorida ( $CCl_4$ ) dan mempunyai sifat berlemak dan tidak larut dalam air. Aspal adalah material utama pada konstruksi lapis perkerasan lentur jalan raya, yang berfungsi sebagai campuran bahan pengikat agregat, karena mempunyai daya lekat yang kuat, mempunyai sifat adesif, kedap air dan mudah dikerjakan. Aspal

merupakan bahan yang plastis yang dengan kelenturannya mudah diawasi untuk dicampur dengan agregat. Lebih jauh lagi, aspal sangat tahan terhadap asam, alkali dan garam-garaman. Pada temperatur atmosfer, aspal akan berupa benda padat atau semi padat, tetapi aspal akan mudah dicairkan jika dipanaskan, atau dilakukan pencampuran dengan pengencer *petroleum* dalam berbagai kekentalan atau dengan membuat emulsi bahan alam yang terkandung dalam minyak bumi yang diperoleh dari hasil penyulingan.

Wibowo dkk (2000) menyatakan aspal adalah sejenis mineral yang banyak digunakan untuk konstruksi jalan, khususnya perkerasan lentur. Aspal merupakan material organik (*hydrocarbon*) yang kompleks, dapat diperoleh langsung dari alam atau dengan proses tertentu (*artifisial*). Umumnya aspal terbagi atas bentuk cair, semi padat, dan padat pada temperatur ruang (25°C). Biasanya aspal dijelaskan sebagai material yang lengket, bersifat *viscoelastis* pada temperatur kamar dan berwarna coklat gelap sampai hitam. Aspal adalah material penting dalam perkerasan lentur karena dapat merekatkan (bersifat sebagai perekat), mengisi rongga (sebagai *filler*), dan memiliki sifat kedap air (*waterproof*).

Menurut Bina Marga (1987) aspal untuk lapis aspal beton harus terdiri dari salah satu aspal keras penetrasi 60/70 atau 80/100 yang seragam, tidak mengandung air, bila dipanaskan sampai dengan 175°C tidak berbusa, dan memenuhi persyaratan tertentu. Aspal keras adalah suatu jenis aspal minyak yang merupakan residu hasil destilasi minyak bumi pada keadaan yang hampa udara, yang pada temperatur normal dan tekanan atmosfer berbentuk padat.

*AASHTO* (1986) menyatakan jenis aspal keras ditandai dengan angka penetrasi aspal. Angka penetrasi

aspal ini menyatakan tingkat kekerasan aspal atau tingkat konsistensi aspal. Semakin besar angka penetrasi aspal maka tingkat kekerasan aspal semakin rendah, sebaliknya semakin kecil angka penetrasi aspal maka tingkat kekerasan aspal semakin tinggi.

## 2.4 Agregat

Spesifikasi Depkimpraswil (2002) membedakan agregat menjadi agregat kasar dan agregat halus, perbedaan agregat menjadi kasar dan halus berdasarkan dengan syarat-syarat yang telah ditentukan.

### 1. Agregat Kasar

- a. Agregat kasar untuk rancangan campuran panas adalah agregat yang tertahan ayakan No.8 (2,36 mm) dan haruslah bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan yang diberikan dalam tabel 2.1.
- b. Fraksi agregat kasar harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah dan harus disiapkan dalam ukuran nominal tunggal. Ukuran maksimum (*maximum size*) agregat adalah satu ayakan yang lebih besar dari ukuran nominal maksimum (*nominal maximum size*). Ukuran nominal maksimum adalah satu ayakan yang lebih kecil dari ayakan pertama (teratas) dengan bahan tertahan kurang dari 10%.
- c. Agregat kasar yang kotor dan berdebu, yang mempunyai partikel lolos ayakan No. 200 (0,075 mm) lebih besar dari 1% tidak boleh digunakan.
- d. Agregat kasar harus mempunyai angularitas seperti yang disyaratkan dalam tabel berikut. Angularitas agregat kasar didefinisikan sebagai persen terhadap berat agregat yang lebih

besar dari 4,75 mm dengan muka bidang pecah satu atau lebih.

Tabel 2.1. Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekakuan bentuk agregat terhadap larutan natrium (Na) dan magnesium sulfat ( $MgSO_4$ ).		SNI.03-3407-1994	Maks. 12%
Abrasi dengan mesin Los Angeles		SNI.03-2417-1991	Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI.03-2439-1991	Min. 95%
Angularitas (ke dalam dari permukaan < 10 cm)	Lalulintas < 1 juta ESA	DOT'S Pennsylvanis Test Method, PTM no.621	85/80
	Lalulintas $\geq$ 1 juta ESA		95/90
Angularitas (ke dalam dari permukaan $\geq$ 10 cm)	Lalulintas < 1 juta ESA		60/50
	Lalulintas $\geq$ 1 juta ESA		80/75
Partikel pipih dan lonjong		ASTM D-4791	Maks. 10%

Sumber : Depkimpraswil

- e. Fraksi individu agregat kasar harus ditumpuk terpisah dan harus dipasok ke instalasi pencampur aspal dengan menggunakan pemasok penampung dingin sedemikian rupa, sehingga gradasi gabungan agregat dapat dikendalikan dengan baik.
2. Agregat Halus
    - a. Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan lolos ayakan No. 8
    - b. Fraksi agregat halus pecah mesin dan pasir harus ditempatkan terpisah dari agregat kasar.

- c. Pasir boleh dapat digunakan dalam campuran aspal. Persentase maksimum yang disarankan untuk lapis aspal beton adalah 15%.
- d. 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 mutu (kadar aspal cocok, rongga udara, stabilitas, kelenturan, dan keawetan ketebalan) agar mutu tersebut terpenuhi, maka batu pecah halus harus diproduksi dari batu yang bersih. Bahan halus dari pemasok pemecah batu (*crusher stone*) harus diayak dan ditempatkan tersendiri sebagai bahan yang tidak terpakai (kulit batu) sebelum proses pemecahan kedua (*secondary crushing*). Dalam segala hal, pasir yang kotor dan berdebu serta mempunyai partikel lolos ayakan No. 200 (0,075 mm) lebih dari 8% atau pasir yang mempunyai nilai setara pasir (*sand equivalent*) kurang dari 40 sesuai dengan Pd M-03-1996-03, tidak diperkenankan untuk digunakan dalam campuran.

Tabel 2.2. Angularitas Agregat Halus

Pengujian		Standar	Nilai
Angularitas (ke dalam dari permukaan < 10 cm)	Lalulintas < 1 juta ESA	AASHTO TP-33	Min. 40%
	Lalulintas $\geq$ 1 juta ESA		Min. 45%
Angularitas (ke dalam dari permukaan $\geq$ 10 cm)	Lalulintas < 1 juta ESA		Min. 40%
	Lalulintas $\geq$ 1 juta ESA		Min. 40%

Sumber : Depkimpraswil

- e. Agregat pecah halus dan pasir harus ditumpuk terpisah dan harus dipasok ke instalasi pecampur aspal dengan menggunakan pemasok

penampung dingin (*cold bin feeds*) yang terpisah sedemikian rupa sehingga rasio agregat pecah halus dan pasir dapat dikontrol.

- f. Agregat halus harus mempunyai angularitas seperti yang disyaratkan pada tabel 2.2.

Wibowo dkk (2000) menyatakan kadar agregat dalam campuran bahan perkerasan konstruksi jalan pada umumnya berkisar antara 90-95% dari berat total, atau berkisar antara 75-95% dari volume total. Agregat merupakan bahan utama yang turut menahan beban yang diterima oleh bagian perkerasan jalan, begitu pula dalam pelaksanaan perkerasan, dimana digunakan bahan pengikat aspal, sangat dipengaruhi oleh mutu agregat. Agregat adalah suatu bahan keras dan kaku yang digunakan sebagai bahan campuran, yang berupa butiran atau pecahan.

Hendarsin (2000) menyatakan agregat adalah material perkerasan berbutir yang digunakan untuk lapisan jalan terdiri dari tiga kelompok berdasarkan mutu, yaitu kelas A kelas B dan kelas C dibedakan dari gradasi dan sifat material. Dilihat dari jenisnya agregat untuk konstruksi jalan terdiri dari dua macam, yaitu : asli (*natural*) dalam bentuk pasir, kerikil, atau batu pecah/belah dan buatan pabrik (*manufactured*) meliputi letusan bara api dan berbagai produk dari tanah lempung atau batu sabak.

Derucher dkk (1998) menyatakan agregat memainkan suatu peranan yang penting dalam perancangan dan konstruksi dari jalan raya dan landasan pacu, jika material agregat di bawah standar maka pelayanan perkerasan akan menurun. Agregat adalah kombinasi dari pasir, kerikil, batu pecah, terak, atau material lain dari susunan mineral, digunakan pada gabungan dengan suatu bahan perekat untuk bentuk material sedemikian rupa seperti bitumen dan

semen. Agregat lebih lanjut dapat diklasifikasikan sebagai agregat alam dan buatan pabrik. Agregat alam dapat diambil dari kandungan alam dengan mengubah sifatnya selama masa produksi, dengan mengecualikan penghancuran, ukuran kualitas, atau dicuci. Pada kelompok ini batu pecah, kerikil, dan pasir adalah yang bagian terbesar yang biasa digunakan, walaupun batu apung, karang, biji besi, dan batu kapur juga dapat digunakan. Agregat hasil buatan berupa terak hasil pembakaran, tanah liat, serpih dan agregat hasil pembakaran.

Menurut *Asphalt Institute MS-2* (1997) analisis gradasi agregat dan kombinasi agregat untuk menghasilkan gradasi sesuai keinginan adalah langkah penting untuk perancangan aspal campuran panas. Gradasi agregat harus sesuai dengan gradasi yang dibutuhkan dalam spesifikasi pekerjaan dan menghasilkan sebuah rancangan campuran sesuai dengan kriteria metode rancangan campuran. Gradasi agregat juga akan menghemat agregat dalam jumlah yang sangat banyak.

Kandungan agregat kira-kira 95% dari berat campuran beton aspal dan hampir mensuplai keseluruhan dari kemampuan perkerasan. Bila agregat digunakan sedikit dalam sebuah campuran, maka konstruksi akan kehilangan daya tahannya. Tolak ukur yang baik dari proyek perkerasan jalan atau mengharapkan beban lalu lintas dapat ditahan oleh perkerasan, maka harus mempertimbangkan jumlah dan daya guna agregat.

## **2.5 Bahan Pengisi (*Filler*)**

Totomihardjo (2004) menyatakan *filler* adalah suatu bahan berbutir halus yang lewat ayakan No. 30 (595  $\mu$ ) US *Standard Sieve* dan 65% lewat ayakan No.

200 ( $75 \mu$ ) bahan *filler* dapat berupa debu batu, kapur, *portland cement* atau bahan lainnya. *Filler* memiliki parameter butiran berupa ukuran yang kecil, bentuk butiran *cubical/round*, gradasi terbuka, dan memiliki permukaan yang luas. Efek penggunaan *filler* terhadap karakteristik campuran beton aspal akan mempengaruhi karakteristik beton aspal tersebut. Kadar *filler* dalam campuran beton aspal akan mempengaruhi dalam proses pencampuran, penggelaran, dan pemadatan. Selain itu kadar dan jenis *filler* akan berpengaruh terhadap sifat elastis campuran dan sensitivitas terhadap air.

Hasil penelitian dari pengaruh penggunaan *filler* oleh Totomihardjo, S. (1994) terhadap campuran beton aspal adalah sebagai berikut :

1. *Filler* diperlukan untuk meningkatkan kepadatan, kekuatan, dan karakteristik lain beton aspal.
2. Sifat aspal (*daktalitas, penetrasi, viskositas*) diubah secara draktis oleh *filler*, walaupun kadarnya relatif rendah pada campuran beton aspal. Penambahan *filler* pada aspal akan meningkatkan konsistensi aspal.
3. *Filler* dapat berfungsi ganda dalam campuran beton aspal :
  - a. Sebagai bagian dari agregat, *filler* akan mengisi rongga dan menambah bidang kontak antara butir agregat sehingga akan meningkatkan kekuatan campuran.
  - b. Bila dicampur dengan aspal, *filler* akan membentuk bahan pengikat yang berkonsistensi tinggi sehingga mengikat butiran agregat secara bersama-sama.
4. Pada kadar *filler* yang umum digunakan dalam campuran beton aspal, daktalitas campuran aspal *filler* akan mencapai nol. Sedangkan pada

temperatur dan pada kadar *filler* yang sama, nilai penetrasi campuran aspal *filler* akan turun sampai  $<1/3$  dari penetrasi semula.

5. Viskositas campuran aspal *filler* pada temperatur tinggi sangat bervariasi pada kisaran yang lebar tergantung pada jenis *filler* dan kadarnya. Perbedaan ini menjadi kecil pada temperatur lebih rendah.
6. Hasil tes menunjukkan terdapat hubungan yang baik antara stabilitas campuran dan kekentalan aspal pada pemadatan campuran bila kadar *void* yang sama.
7. Sensitivitas campuran terhadap air pada tipe dan kadar *filler* yang berbeda menunjukkan variasi yang cukup besar. Hasil tes menunjukkan bahwa sensitivitas terhadap air dapat diturunkan dengan mengurangi kadar *filler* yang sensitif air.
8. Hasil tes menunjukkan bahwa ada hubungan yang baik antara viskositas aspal dan usaha pemadatan campuran. Disarankan temperatur perlu dinaikkan bila memadatkan campuran dengan *filler* – aspal berkonsistensi tinggi.
9. Dari hasil studi yang telah ada perlu ada kontrol terhadap penambahan *filler* alami dengan cara :
  - a. Analisis ukuran partikel dengan *hydrometer method*, yaitu kandungan clay ( $\leq 5\%$ ) perlu dibatasi.
  - b. *Plasticity index*, nilainya juga perlu dibatasi.
  - c. *Immersion-compression test*, berdasarkan pada sensitivitas terhadap air, *filler* dapat ditolak atau kadarnya disesuaikan sampai batas yang diterima.

Depkimpraswil dalam spesifikasi teknik menyebutkan bahan pengisi (*filler*) untuk campuran aspal adalah :

1. Bahan pengisi yang ditambahkan harus terdiri dari debu batu kapur, *cement portland*, abu terbang, abu tanur semen, atau bahan non plastis lainnya dari sumber manapun. Bahan tersebut harus bebas dari bahan yang tidak dikehendaki.
2. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan secara basah sesuai dengan SK SNI M-02-1994-03 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No. 200 (0,075 mm) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya.
3. Bilamana kapur tidak terhidrasi atau terhidrasi sebagian, digunakan sebagai bahan pengisi yang ditambahkan maka proporsi maksimum yang diizinkan adalah 1% dari berat total campuran aspal.

*Asphalt Institute MS-22* (2001) menyatakan bahwa mineral *filler* dapat menggunakan debu batu, debu batu kapur, semen PC atau bahan mineral tidak plastis yang bebas dari gumpalan dan minimal 70% lolos saringan No. 200. Rongga udara pada agregat kasar diisi dengan partikel lolos saringan No. 200 yang membuat rongga udara lebih kecil sehingga mampu meningkatkan kerapatan dan stabilitas campuran beton aspal.

## 2.6 Durabilitas

Totomihardjo (2004) menyatakan durabilitas merupakan sifat tahan lama yang sangat diperlukan dalam hubungannya dengan air serta adanya *aging of bitumen* akibat kemungkinan terjadinya oksidasi.

Sukirman (2003) menyatakan durabilitas atau keawetan adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan 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 pori dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran. Selimut aspal yang tebal akan membungkus agregat secara baik, beton aspal akan lebih kedap air, sehingga kemampuannya menahan keausan semakin baik. Tetapi semakin tebal selimut aspal, maka semakin mudah terjadi *bleeding* yang mengakibatkan jalan semakin licin. Besarnya pori yang tersisa dalam campuran setelah pemadatan, mengakibatkan durabilitas beton aspal menurun. Semakin besar pori yang tersisa semakin tidak kedap air dan semakin banyak udara di dalam beton aspal, yang menyebabkan semakin mudahnya selimut aspal beroksidasi dengan udara sehingga menjadi getas, dan durabilitasnya akan menurun.

Menurut *Asphalt Institute MS-22* (2001) durabilitas dari sebuah perkerasan aspal adalah kemampuan untuk bertahan sedemikian rupa terhadap faktor-faktor seperti rendaman aspal, penghancuran agregat, pelepasan film aspal dari agregat.

Faktor-faktor tersebut akibat dari cuaca, lalu lintas atau kombinasi dari keduanya. Secara umum durabilitas dari sebuah campuran dapat ditingkatkan dengan tiga metode, yaitu :

1. Menggunakan campuran perancangan dengan gradasi rapat atau agregat yang tahan uap lembab.
2. Maksimalkan ketebalan film aspal pada agregat.
3. Merapatkan kedudukan campuran sampai 8% atau rongga udara lebih sedikit.

Ketebalan film aspal adalah berhubungan dengan kualitas dari kandungan aspal sebagai perekat aspal. Tebal film aspal tidak menuakan dan mengeraskan aspal dengan cepat, begitu juga bila film aspal tipis. Oleh karena itu ketahanan aspal ditentukan oleh keaslian karakteristik jangka panjang aspal itu sendiri. Penambahan ketebalan film aspal juga sangat efektif memperkuat perkerasan secara signifikan dari hubungan antara rongga udara pada perkerasan, membuat sulit bagi air dan udara untuk masuk. Suatu keharusan adanya bagian dari sisa rongga-rongga udara pada perkerasan untuk membolehkan ekspansi dari aspal pada cuaca panas dan tekanan lalu lintas dipermukaannya.

Kepadatan gradasi karena getaran, kerapatan, agregat tahan uap lembab memperbesar daya tahan perkerasan ditiga arah. Kepadatan gradasi menutup hubungan antara partikel agregat, menaikkan daya tahan terhadap air pada campuran. Suatu getaran, menghancurkan daya tahan agregat keras, di bawah beban lalu lintas. Daya tahan uap lembab agregat mencegah aksi dari air dan lalu lintas bagi pelepasan film aspal dan yang utama adalah kekusutan dari perkerasan. Perancangan campuran untuk kepadatan maksimum dan tersusun rapatnya perkerasan pada delapan persen atau lebih sedikit rongga-rongga udara juga meminimalkan gangguan udara dan air kedalam perkerasan.

Menurut Suparma (2001) durabilitas campuran aspal adalah kemampuan campuran aspal dalam menahan kerusakan yang disebabkan oleh faktor lingkungan, termasuk didalamnya air, temperatur, dan pengaruh bahan bakar dari kendaraan untuk waktu yang lama, tanpa terjadi kerusakan yang signifikan.

Durabilitas berkaitan dengan keawetan campuran terhadap beban lalu lintas dan pengaruh

cuaca. Campuran harus tahan terhadap air dan perubahan sifat aspal karena penguapan dan oksidasi. Durabilitas dapat ditingkatkan dengan cara membuat campuran yang padat dan kedap air, yang dapat diperoleh dari penggunaan agregat bergradasi rapat (*dense graded*) dan kadar aspal yang tinggi, karena aspal akan mengisi ruang-ruang kosong yang berada diantara agregat (Wibowo dkk, 2000).

Durabilitas merupakan salah satu sifat penting yang harus dimiliki oleh suatu campuran beraspal. Durabilitas suatu campuran beraspal dapat didefinisikan sebagai ketahanan campuran tersebut terhadap pengaruh kelembaban dan temperatur. Suatu campuran dengan durabilitas tinggi memberikan indikasi bahwa campuran tersebut akan berada dalam keadaan yang baik untuk waktu yang lama. Kerusakan pada campuran beraspal akibat pengaruh kelembaban ini dapat tampak dalam bentuk *stripping*, yaitu pengelupasan lapisan aspal dari butir agregat akibat hilangnya daya lekat antara aspal dan permukaan agregat, terutama disebabkan adanya air atau uap air dalam campuran beraspal (Kusumawati, 2000).

Menurut Craus dkk (1981) dalam mengevaluasi durabilitas campuran aspal akibat beban lalu lintas dan pengaruh cuaca, khususnya pengaruh air digunakan ukuran kuantitatif atau indeks untuk menerangkan potensi durabilitas. Kriteria rendaman satu hari tidak selalu mencerminkan sifat keawetan dari campuran setelah beberapa waktu masa rendaman. Untuk itu diusulkan bahwa indeks keawetan harus memenuhi kriteria seperti cukup rasional, menggambarkan ketahanan dan potensi keawetan untuk suatu rentang masa rendaman dan dapat memberikan gambaran perbedaan perubahan dalam rentang masa rendaman dalam suatu kurva keawetan. Dalam penelitian tersebut dikenalkan dua macam indeks keawetan untuk

keperluan analisis data pengujian durabilitas meliputi indeks keawetan pertama dan indeks keawetan kedua yang diharapkan memenuhi kriteria tersebut. Untuk mendapatkan indeks durabilitas diatas dilakukan pengujian *Marshall Immersion*.

Menurut Cabrera dkk (1999) durabilitas tidak berhubungan dengan kerusakan akibat beban lalu lintas. Durabilitas didefinisikan sebagai kemampuan dari campuran untuk bertahan terhadap efek air, rendaman dan variasi temperatur untuk bertahan dari beban lalu lintas yang besar. Kegagalan dari bahan perekat menyatukan antara bahan pengikat dan agregat (pelepasan agregat) atau mengurangi kepadatan dari hasil campuran bitumen berupa penurunan kekuatan dan kekakuan dari campuran dan selanjutnya, faktor reduksi kemampuan perkerasan untuk menahan lalu lintas akibat tekanan dan tegangan.

## 2.7 Stabilitas

Menurut Suparma (2005) stabilitas berkaitan dengan kekuatan (*strength*) dan menunjukkan kemampuan suatu lapis keras lentur untuk menghindarkan dari deformasi dengan adanya beban lalu lintas, dengan kata lain kemampuan suatu perkerasan untuk menahan beban lalu lintas tanpa terjadi suatu deformasi. Stabilitas akan maksimum bila agregat dengan angularity dan kekasaran yang cukup, gradasi agregat yang rapat, dan aspal yang digunakan cukup untuk menyelimuti agregat dan sekaligus sebagai pengikat. Stabilitas merupakan fungsi dari kekuatan geser dari campuran akibat adanya tahanan geser antar agregat dan akibat viskositas dari aspal (kohesi aspal), kekuatan aspal terhadap tarik (*tensile strength*), dan kekuatan inersia terhadap beban dinamis.

Sukirman (2003) menyatakan stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding akan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi. Sebaliknya perkerasan jalan yang diperuntukkan melayani lalu lintas kendaraan ringan tentu tidak perlu memiliki nilai stabilitas yang tinggi. Stabilitas beton aspal dipengaruhi oleh faktor-faktor gesekan internal dan daya ikat aspal.

*Asphalt Institute MS-22* (2001), menyatakan bahwa stabilitas perkerasan jalan adalah kemampuan menahan jembul (*shoving*) dan alur (*rutting*) akibat beban lalu lintas. Perkerasan yang stabil harus dapat mempertahankan bentuk dan kehalusan permukaan jalan setelah mengalami pembebanan berulang-ulang. Perkerasan yang tidak stabil akan mengalami *rutting*, *ripples* dan kerusakan campuran aspal lainnya. Stabilitas campuran aspal tergantung kepada gaya gesek internal dan kohesi campuran. Gaya gesek antara partikel agregat berhubungan dengan karakteristik agregat seperti bentuk dan teksturnya sedangkan kohesi didapat dari daya ikat aspal.

Wibowo dkk (2000) menyatakan bahwa stabilitas adalah kemampuan maksimum menahan beban hingga terjadi kelelahan plastis. Kemampuan ini dinyatakan dalam satuan beban. Pengukuran kemampuan ini dilakukan secara simulasi dalam skala laboratorium. Bentuk pengujian yang umum dilakukan adalah *Marshall test*. Variasi pengujian ini adalah dengan rendaman yang dilakukan pada *Marshall immersion test* dan *Marshall modified immersion test*. Kekuatan terhadap kelelahan plastis diperoleh dari sifat

*interlocking* antar agregat dalam campuran atau dengan menggunakan aspal berpenetrasi rendah.

## 2.8 Pelapukan

### 1. Pelapukan agregat (*soundness*)

Wibowo dkk (2000) memberikan istilah *soundness* yang diartikan sebagai kemampuan agregat untuk menahan perubahan volume yang berlebih, sebagai akibat dari perubahan lingkungan fisik, seperti beku cair dan perubahan panas, *soundness* termasuk pemeriksaan fisika-kimia. Pelapukan adalah proses disintegrasi agregat yang disebabkan oleh larutan sodium sulfat atau magnesium sulfat sebagai simulasi pelapukan yang terjadi akibat cuaca. Fenomena cuaca ini secara umum berlangsung pada skala waktu geologi, tetapi pada situasi tertentu dapat terjadi pada masa layanan terutama pada agregat dipermukaan.

### 2. Akibat pemanasan aspal

Wibowo dkk (2000), menyatakan bahwa cahaya diketahui mempunyai efek yang merusak pada aspal. Kerusakan yang ditimbulkan sering berasal dari sinar matahari, yang mungkin akan merusak molekul aspal, dibantu oleh faktor air dan cairan pelarut lainnya yang ada dipermukaan jalan. Kerusakan molekul dengan cara ini dinamakan fotooksidasi. Sinar yang merusak ini hanya dapat mempengaruhi beberapa lapis molekul pada lapisan atas aspal. Proses ini tidak dapat diabaikan dalam kontribusinya terhadap proses pengrusakan akibat cuaca pada lapisan permukaan tipis aspal pada agregat.

### 3. Degradasi aspal

Hadi (2004) menjelaskan seri hidrokarbon n-paraffin (n-alkana) yang terdiri dari metana ( $\text{CH}_4$ ) atau aspal yang memiliki atom karbon (C) yang lebih dari 25

rantainya, merupakan komponen terbesar dalam minyak bumi bersifat mudah terdegradasi, larut dalam air, dan terdifusi ke dalam selaput sel bakteri. Mikroorganisme seperti bakteri, beberapa khamir, jamur, sianobakteria, dan alga biru mampu mengoksidasi hidrokarbon yang sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Asphalt Institute MS-2 (1997) karena aspal adalah komposisi molekul organik, maka mudah bereaksi dengan oksigen ( $O_2$ ) dari lingkungan yang disebut oksidasi dan ini merubah struktur dan komposisi molekul aspal.

## 2.9 Air Laut

Air laut adalah air dari laut atau samudera. Air laut memiliki kadar garam rata-rata 3,5%. Artinya dalam 1 liter (1000 mL) air laut terdapat 35 gram garam (terutama, namun tidak seluruhnya, garam dapur/NaCl).

Walaupun kebanyakan air laut di dunia memiliki kadar garam sekitar 3,5 %, air laut juga berbeda-beda kandungan garamnya. Yang paling tawar adalah di timur Teluk Finlandia dan di utara Teluk Bothnia, keduanya bagian dari Laut Baltik. Yang paling asin adalah di Laut Merah, di mana suhu tinggi dan sirkulasi terbatas membuat penguapan tinggi dan sedikit masukan air dari sungai-sungai.

Air laut memiliki kadar garam karena bumi dipenuhi dengan garam mineral yang terdapat di dalam batu-batuan dan tanah. Contohnya natrium, kalium, kalsium, dll. Apabila air sungai mengalir ke lautan, air tersebut membawa garam. Lama-kelamaan air laut menjadi asin karena banyak mengandung garam (wikipedia.org).

Menurut kamus kimia (Balai Pustaka, 2000) air laut adalah air murni yang didalamnya terkandung

berbagai zat padat dan gas. Air laut itu sendiri mempunyai komponen-komponen utama seperti Clorida ( $\text{Cl}^-$ ) sebesar 55,07% dan Natrium ( $\text{Na}^+$ ) sebesar 30,62% (Kramadibrata, 2002). Dari komposisi tersebut jelas bahwa kandungan garam ( $\text{NaCl}$ , *natrium clorida*) sangat menentukan sifat air laut, selain komponen lainnya seperti tertera pada tabel berikut.

Salinitas adalah suatu ukuran derajat kandungan garam ( $\text{NaCl}$ , *natrium clorida*) dalam gram setiap satu kilogram air laut (g/kg) atau bagian perseribu ( $^{\circ}/_{\infty}$ ). Salinitas berpengaruh terhadap pengrusakan unsur logam seperti besi. Pengetahuan besaran salinitas sangat dibutuhkan untuk menentukan penggunaan material konstruksi. Salinitas didaerah tropis berkisar antara 34 – 35 $^{\circ}/_{\infty}$  (Kramadibrata, 2002).

Tabel 2.3. Komponen Utama Air Laut

Komponen	Simbol	g/kg	Persentase berdasarkan berat
Clorida	$\text{Cl}^-$	19,35	55,07
Natrium	$\text{Na}^+$	10,76	30,62
Sulfida	$\text{SO}_4^{2-}$	2,71	7,72
Magnesium	$\text{Mg}^{2+}$	1,29	3,68
Kalsium	$\text{Ca}^{2+}$	0,41	1,17
Potassium	$\text{K}^+$	0,39	1,10
Bikarbonat	$\text{HCO}_3^-$	0,14	0,40
Bromida	$\text{Br}^-$	0,067	0,19
Strontium	$\text{Sr}^{2+}$	0,008	0,02
Boron	$\text{B}^{3+}$	0,004	0,01
Fluorida	$\text{F}^-$	0,001	0,01
Jumlah			99,99

Sumber : Kramadibrata (2002)

## 2.10 Pengaruh Air Laut Terhadap Campuran Beraspal

Menurut Wibowo dkk (2000) unsur Natrium Sulfida ( $\text{NaSO}_4$ ) dan Magnesium Sulfida ( $\text{MgSO}_4$ ) yang

ada dalam air laut dapat menyebabkan proses pelepasan butir-butir agregat dengan aspal pada perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan perekat, sehingga memperlemah ikatan antar butir-butir agregat.

Oktorizal (1999) menyatakan kadar garam dalam air berpengaruh terhadap durabilitas mengingat penurunan stabilitas meningkat dengan meningkatnya kadar garam dan deformasi meningkat dengan bertambahnya waktu rendaman, hal ini berdasarkan penelitian pengaruh air asin terhadap durabilitas campuran beraspal.

Penelitian pengaruh air asin (air murni + garam dengan kadar tertentu) terhadap campuran beraspal dilakukan dengan uji Marshall berupa stabilitas dan *flow* untuk menganalisis tingkat keawetannya, sedangkan untuk melihat ketahanan terhadap deformasi permanen digunakan alat uji *wheel tracking*, sebelum dan sesudah rendaman dalam air asin. Kehilangan stabilitas setelah rendaman adalah suatu ukuran ketahanan terhadap kerusakan akibat air laut, dan semakin lama proses rendaman semakin besar penurunan stabilitas.

Willamson (1968) menguraikan suatu penelitian yang dibuat di United Kingdom berkenaan dengan pengaruh air asin atau air bergaram terhadap sifat-sifat campuran beraspal, yang menyatakan air asin atau air bergaram memberi pengaruh jelek terhadap sifat-sifat campuran beraspal. Masuknya air asin kedalam suatu campuran beraspal dalam keadaan tertentu dapat mengakibatkan hilangnya kelekatan antara aspal dengan agregat, sehingga terjadi proses pelepasan aspal dari permukaan agregat.

## Landasan Teori

### 3.1 Aspal

Aspal sebagai bahan pengikat campuran pada penelitian "Durabilitas Beton Aspal (AC-WC) Akibat Rendaman Air Laut" ini digunakan jenis aspal keras, dengan penetrasi 60-70 yang lebih dikenal dengan AC 60-70. Aspal yang digunakan disyaratkan tidak mengandung air dan bila dipanaskan sampai dengan 175°C tidak berbusa dan memenuhi persyaratan sesuai dengan spesifikasi Depkimpraswil.

Tabel 3.1. Persyaratan Aspal Keras AC 60-70

No	Jenis pemeriksaan	Satuan	Persyaratan	
			Min	Maks
1	Penetrasi (25°C, 5 detik)	0,1 mm	60	79
2	Titik lembek ( <i>ring ball</i> )	°C	48	58
3	Titik nyala ( <i>clav. open cup</i> )	°C	200	-
4	Kehilangan berat (163°C, 5 jam)	% berat	-	0,4
5	Kelarutan (CCL <sub>4</sub> atau CS <sub>2</sub> )	% berat	99	-
6	Daktalitas (25°C, 5 cm/menit)	cm	100	-
7	Penetrasi setelah kehilangan berat	% semula	75	-
8	Penetrasi aspal hasil ekstraksi benda uji	% semula	55	-
9	Daktalitas aspal hasil ekstraksi benda uji	cm	40	-
10	Berat jenis (25°C)	-	1	-

Sumber : Depkimpraswil

Persyaratan sifat beton aspal campuran panas pada lapisan AC-WC sesuai dengan spesifikasi

Depkimpraswil berdasarkan 10 kriteria yang ada, seperti pada tabel diatas.

### 3.2 Beton Aspal

Agregat merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan, oleh karena itu keawetan dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga oleh agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. Agregat yang digunakan harus bebas dari kotoran, bahan organik, dengan kualitas sesuai tabel berikut (Spesifikasi Depkimpraswil) yaitu :

Tabel 3.2. Persyaratan Agregat

Jenis pemeriksaan	Satuan	Syarat Minimum		Metode pemeriksaan
		Fraksi agregat kasar	Fraksi agregat halus	
Ukuran butir (5% lolos saringan No.8)	%	0	100	-
Abrasi dengan mesin Los Angeles	%	Maks. 40	-	SNI. 03-2417-1991
Kekekalan bentuk ( <i>soundness</i> ) terhadap larutan $N_2$ atau $MgSO_4$	%	Maks 12	-	SNI. 03-3407-1994
Kelekatan agregat terhadap aspal ( <i>stripping</i> )	%	Min 95	-	SNI. 03-2439-1991
Angularitas (kedalaman dari permukaan < 10 cm)	Lalulintas < 10 <sup>o</sup> ESA	85/80*	Min 40	-
	Lalulintas ≥ 10 <sup>o</sup> ESA	95/90*	Min 45	-
Angularitas (kedalaman dari permukaan ≥ 10 cm)	Lalulintas < 10 <sup>o</sup> ESA	60/50*	Min 40	-
	Lalulintas ≥ 10 <sup>o</sup> ESA	80/75*	Min 40	-
Indeks kepipihan agregat	%	Maks 10	-	-
Absorsi air	%	Maks 3	Maks 3	SNI. 03-1969-1990 SNI. 03-1970-1990
Berat jenis semu	-	Min 2,5	Min 2,5	SNI. 03-1969-1990 SNI. 03-1970-1990
Partikel lolos saringan No. 200	%	-	Maks 8	SNI-M-02-1994-03
Nilai sand equivalent	%	-	Maks 40	-

Sumber : Depkimpraswil

Catatan :

- \* 85/80 menunjukkan bahwa 85% agregat kasar mempunyai satu atau lebih muka bidang pecah dan 80% mempunyai dua atau lebih muka bidang pecah.
- \*\* Berat jenis agregat kasar dan halus tidak boleh berbeda lebih dari 0,2.

### 3.3 Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi (*filler*) yang dipakai dalam penelitian ini adalah debu batu. Adapun debu batu yang digunakan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan SK SNI. M-02-1994-03 mengandung bahan yang lolos ayakan No. 200 (0,075 mm) sama atau lebih banyak dari 75% terhadap beratnya.

### 3.4 Air Laut

Air laut yang digunakan untuk penelitian ini adalah air laut yang belum tercampur dengan air lainnya. Air laut dalam bak perendam akan diganti setiap 3 hari karena adanya penguapan, sehingga air laut diharapkan masih sesuai dengan keadaan aslinya. Penguapan yang terlalu besar dapat meningkatkan jumlah garam yang terkandung dalam air laut, yang disebabkan berkurangnya air sementara kandungan garam (NaCl) tetap, sehingga mengganggu konsentrasi air laut yang dipakai untuk penelitian. Penggunaan air laut dari Parangtritis adalah sama dengan penggunaan air laut dari daerah lainnya di Indonesia, karena memiliki nilai salinitas relatif sama yang berkisar 34 – 35‰.

### 3.5 Gradasi Agregat (Susunan Butir)

Gradasi agregat pada beton aspal campuran panas pada lapisan AC-WC sangat menentukan

kekuatan perkerasan. Agregat dengan gradasi menerus dan rapat mampu meningkatkan kekuatan perkerasan beton aspal, selain cara dan prosedur pelaksanaan konstruksi perkerasan jalan di lapangan. Tabel berikut menunjukkan gradasi agregat campuran panas dan daerah larangan (*restricted zones*) berdasarkan spesifikasi Depkimpraswil (2002).

Tabel 3.3. Gradasi Agregat Beton Aspal

Ukuran Saringan		% Berat Lolos	
No.	Bukaan (mm)	Spesifikasi Depkimpraswil	
		AC - WC	Daerah Larangan
1,5"	37,5	-	-
1"	25	-	-
¾"	19	100	-
½"	12,5	90 - 100	-
3/8"	9,5	Max. 90	-
# 4	4,75	-	-
# 8	2,36	28 - 58	39,1 - 39,1
# 16	1,19	-	25,6 - 31,6
# 30	0,60	-	19,1 - 23,1
# 50	0,30	-	15,5 - 15,5
# 100	0,149	-	-
# 200	0,075	4 - 10	-

Sumber : Depkimpraswil

1. Nilai Volume Pori dalam Agregat Campuran (*VMA*) disyaratkan minimal 15%.
2. Gradasi agregat campuran panas beton aspal dibatasi oleh beberapa titik kontrol.
3. Daerah larangan (*restricted zones*) pada persyaratan gradasi yang tidak boleh dipotong atau dilalui oleh gradasi agregat gabungan yang dipilih. Gradasi yang memotong daerah larangan akan sulit dipadatkan, sensitif terhadap perubahan kadar aspal dan mudah mengalami deformasi plastis, sehingga dapat mengurangi kekuatan perkerasan.

4. Batas-batas rentang utama gradasi agregat campuran ditentukan oleh saringan ukuran nominal maksimum, ayakan menengah No. 8 (2,36 mm) dan saringan terkecil No. 200 (0,075 mm)

### 3.6 Karakteristik Campuran Beton Aspal

Karakteristik dan persyaratan campuran beton aspal (LASTON) berdasarkan tabel berikut (Spesifikasi Depkimpraswil)

Tabel 3.4. Persyaratan Beton Aspal Campuran Panas

Sifat-sifat Campuran		AC-WC1 Wearing	AC-WC2 Binder	AC-Base	
Penyerapan kadar aspal	Maks	1,2 untuk lalulintas > 1 juta ESA 1,7 untuk lalulintas < 1 juta ESA			
Jumlah tumbukan perbidang		75	75	112	
Rongga dalam campuran (VITM) %	Lalulintas (LL) > 1 juta ESA	4,9 – 5,9			
	½ juta < LL < 1 juta ESA	3,9 – 4,9			
	LL < ½ juta ESA	3,0 – 5,0			
Rongga dalam agregat (VMA) %	Min	15	14	13	
Rongga terisi aspal (VFWA) %	Lalulintas (LL) > 1 juta ESA	Min	65	63	60
	½ juta < LL < 1 juta ESA	Min	68		
	LL < ½ juta ESA	Min	75	75	73
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800	800	1800	
Kelelahan / Flow (mm)	Min	2			
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	200			
Stabilitas Marshall setelah rendaman selama 24 jam, 60°C (%)	Min	85 untuk lalulintas > 1 juta ESA 80 untuk lalulintas < 1 juta ESA			
Rongga dalam campuran (VITM) pada kepadatan membal ( <i>refusa</i> ), %	Lalulintas (LL) > 1 juta ESA	Min	2,5		
	½ juta < LL < 1 juta ESA	Min	2,0		
	LL < ½ juta ESA	Min	1,0		

Sumber : Depkimpraswil

Pembuatan campuran benda uji diawali dengan menentukan kadar aspal tengah ( $P_b$ ), yang dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut.

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

dimana :

- $P_b$  = kadar aspal tengah, persen terhadap berat campuran
- CA = persen agregat tertahan saringan No.8
- FA = persen agregat lolos saringan 0.8 dan tertahan saringan No. 200
- Filler = persen agregat minimal 75% lolos No. 200
- K = konstanta 0,5 – 1 untuk lapis AC (*Asphalt Concrete*).

kadar aspal tengah merupakan pedoman untuk membuat benda uji agar diperoleh kadar aspal optimum (KAO) pada suatu campuran. Nilai kadar aspal tengah yang diperoleh dari perhitungan, selanjutnya dibulatkan untuk memudahkan menentukan kadar aspal dalam campuran.

Kadar aspal berkisar antara 4 % - 6 % berdasarkan komposisi beton aspal campuran panas, sehingga dalam menentukan komposisi campurannya adalah dengan menetapkan kadar aspal berdasarkan nilai tengahnya.

### 3.7 Pengujian Marshall

Kinerja dari beton aspal padat dapat ditentukan melalui pengujian benda uji di laboratorium berdasarkan parameter Marshall yang meliputi *density*, *stabilitas*, *flow*, *Marshall Quotient (MQ)*, *Void in Mineral Agregate (VMA)*, *Void in the Mix (VITM)*, *Void filled with Asphalt (VFWA)*, dan *Bitument Film Thickness (BFT)*.

### 1. Penentuan kerapatan (*density*)

*Density* merupakan tingkat kerapatan campuran setelah campuran dipadatkan. Nilai *density* biasanya digunakan untuk membandingkan nilai kepadatan rata-rata lapisan yang telah selesai di lapangan dengan kepadatan di laboratorium yang biasanya  $\geq 96\%$ . Kerapatan ini dipengaruhi oleh temperatur pemadatan, kadar aspal, kualitas dan jenis fraksi agregat penyusun campuran. Besarnya kerapatan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Density} = \frac{\text{berat kering benda uji (gr)}}{\text{volume benda uji (gr)}} \dots\dots\dots (3.2)$$

### 2. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas dinyatakan dalam kilogram, pengujian nilai stabilitas adalah kemampuan maksimum beton aspal padat menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis. Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi atau perubahan bentuk permanen (*permanent deformation*) seperti gelombang (*washboarding*), alur (*rutting*) dan *bleeding*. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh bentuk butir, kualitas, tekstur permukaan, dan gradasi agregat yaitu pada gesekan antar butiran agregat (*internal friction*) dan penguncian antar butir agregat (*interlocking*), daya lekat, dan kadar aspal dalam campuran. Nilai stabilitas diperoleh langsung dari pembacaan arloji stabilitas pada alat uji Marshall.

$$\text{Nilai stabilitas (kg)} = \text{nilai pembacaan arloji stabilitas} \times \text{kalibrasi proving ring} \times \text{koreksi tebal benda uji}$$

### 3. Pengujian kelelahan (*flow*)

*Flow* adalah besarnya perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat akibat adanya beban sampai batas keruntuhan. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar

aspal, viskositas aspal, gradasi agregat, dan temperatur pemadatan. Besarnya nilai *flow* diperoleh dari pembacaan arloji *flowmeter* saat melakukan pengujian Marshall.

Nilai *flow* = nilai pembacaan arloji *flow* pada pengujian Marshall dengan satuannya milimeter (mm)

#### 4. Perhitungan *Marshall Quotient (MQ)*

*Marshall Quotient* adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow*, yang dipakai sebagai pendekatan terhadap tingkat kekakuan campuran. Bila campuran aspal agregat mempunyai angka kelelahan rendah dan stabilitas tinggi menunjukkan sifat kaku dan getas (*brittle*), sebaliknya bila nilai kelelahan tinggi dan stabilitas rendah maka campuran cenderung plastis. Besarnya nilai *Marshall Quotient (MQ)* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$MQ = \frac{\text{Nilai Stabilitas (kg)}}{\text{nilai Flow (mm)}} \dots\dots\dots 3.3$$

#### 5. Perhitungan jenis volume pori dalam beton aspal padat yang meliputi,

- a. Volume pori diantara butir agregat didalam beton aspal padat (*VMA*)
- b. Volume pori beton aspal padat dalam campuran (*VITM*)
- c. Volume pori beton aspal dalam campuran padat terisi aspal (*VFWA*)
- d. Berat jenis maksimum teorities ( $G_{mm}$ )
- e. Berat Jenis *Bulk* Beton Aspal Padat ( $G_{mb}$ )
- f. Kadar aspal terabsorsi kedalam pori agregat ( $P_{ab}$ )
- g. Kadar aspal efektif menyelimuti agregat ( $P_{ae}$ )

#### 6. Perhitungan tebal selimut atau film aspal

Tebal lapisan film aspal (*bitument film thickness*) pada suatu campuran beton aspal sangat menentukan durabilitas beton aspal. Semakin tebal lapisan film aspal

maka campuran akan lebih tahan terhadap oksidasi. Ketebalan lapisan aspal dipengaruhi oleh besarnya kadar aspal, untuk kepentingan durabilitas dan kemudahan pekerjaan kadar aspal dapat ditambahkan sampai dengan 1% dari kadar aspal optimum (Nicholls, 1998). Tebal lapisan film aspal tidak boleh kurang dari 5 micron untuk beton aspal campuran panas (Whiteoak, 1990).

Tabel 3.5. Faktor luas permukaan agregat

Saringan		Faktor Luas Permukaan (FLP)
No.	mm	m <sup>2</sup> /kg
≥ 4	4,75	0,41
8	2,36	0,82
16	1,18	1,64
30	0,60	2,87
50	0,30	6,14
100	0,15	12,29
200	0,075	32,77

Sumber : *Asphalt Institute MS-2*

Catatan :

- untuk semua ukuran saringan diatas No.4 diperhitungkan sebagai 0,41 m<sup>2</sup>/kg.

Banyaknya aspal yang berfungsi menyelimuti permukaan setiap butir agregat dinyatakan dengan kadar aspal efektif. Semakin tinggi kadar aspal efektif semakin tebal selimut atau film aspal pada masing-masing butir agregat. Tebal film aspal sangat ditentukan oleh luas permukaan seluruh butir agregat pembentuk beton aspal.

Luas total permukaan agregat campuran ditentukan oleh gradasi dari agregat campuran. *Asphalt Institute MS-2* menghitung luas total permukaan agregat dengan mempergunakan data persentase lolos 1 set saringan dan faktor luas permukaan (FLP). Satu set saringan terdiri dari saringan No. 4, 8, 16, 30, 50, 100, dan 200. FLP merupakan luas permukaan

permukaan agregat sesuai ukuran saringan untuk setiap 1 kg agregat. Jadi FLP dinyatakan dalam m<sup>2</sup>/kg. Nilai FLP untuk satu set ukuran saringan menurut *Asphalt Institute* berdasarkan tabel berikut.

FLP dipakai jika seluruh urutan saringan digunakan

Tebal selimut aspal dihitung dengan persamaan berikut.

$$\text{Tebal Selimut} = \frac{P_{ae}}{G_a} \times \frac{1}{LP \times P_s} \times 1000 \mu\text{m} \dots\dots\dots (3.4)$$

dimana :

$P_{ae}$  = kadar aspal efektif yang menyelimuti butir-butir agregat, % terhadap berat beton aspal padat.

$G_a$  = berat jenis aspal

$LP$  = kadar agregat, % terhadap berat beton aspal padat

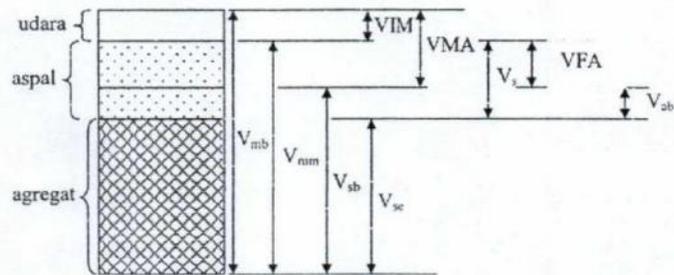
$P_s$  = luas permukaan total dari agregat campuran didalam beton aspal padat

Pengujian kinerja beton aspal padat dilakukan melalui pengujian Marshall. Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbf) dan *flowmeter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur kelelahan plastis atau *flow*. Benda uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inci dan tinggi 2,5 inci.

Keenam butir pengujian yang umum dilakukan untuk menentukan kinerja beton aspal yang menggunakan alat Marshall hanya untuk nilai stabilitas dan *flow*, sedangkan parameter lainnya ditentukan melalui penimbangan benda uji dan perhitungan. Secara garis besar pengujian Marshall meliputi, persiapan benda uji, penentuan berat jenis *bulk* dari benda uji, dan pemeriksaan nilai stabilitas, *flow* dan perhitungan sifat volumetrik benda uji, juga dapat melihat tingkat keawetannya.

### 3.8 Sifat Volumetrik dari Beton Aspal Campuran Panas

Secara analitis dapat ditentukan sifat volumetrik dari campuran beton aspal padat, baik yang dipadatkan di laboratorium maupun di lapangan. Parameter yang dipakai adalah  $V_{mb}$ ,  $V_{mm}$ ,  $V_{sb}$ ,  $V_{se}$ ,  $V_s$ ,  $V_{ab}$ ,  $VMA$ ,  $VITM$ , dan  $VFA$ . Volume didalam campuran beton aspal padat seperti pada gambar berikut.



Gambar 3.1 Skematis berbagai jenis volume beton aspal

dimana :

- $V_{mb}$  = volume *bulk* dari beton aspal campuran panas
- $V_{sb}$  = volume agregat dalam volume *bulk* dari agregat ( volume bagian masif + pori yang ada didalam masing-masing butir agregat)
- $V_{se}$  = volume agregat adalah volume efektif dari rongga (volume bagian masif + pori yang tidak berisi aspal didalam masing-masing butir agregat)
- $VMA$  = volume pori diantara butir agregat didalam beton aspal padat
- $VITM$  = volume pori yang berada dalam beton aspal padat

- $V_{mm}$  = volume tanpa pori dari beton aspal padat  
 $V_s$  = volume aspal dalam beton aspal padat  
 $V_{FWA}$  = volume pori beton aspal yang terisi oleh aspal  
 $V_{ab}$  = volume aspal yang terabsorpsi ke dalam agregat dari beton aspal padat

Besarnya parameter-parameter tersebut sangat ditentukan oleh proses perancangan dan pelaksanaan baik di laboratorium maupun di lapangan.

### 1. Berat jenis maksimum beton aspal teorities ( $G_{mm}$ )

Berat jenis maksimum beton aspal teoritis diperoleh melalui perhitungan dengan berdasarkan berat beton aspal campuran panas yang belum dipadatkan sebanyak 100 gram. Beton aspal campuran panas dibuat dari  $P_a$  (%) aspal dan  $P_s$ (%) agregat terhadap berat beton aspal padat.

$$\text{Jadi : } P_a + P_s = 100\%$$

Aspal mempunyai berat jenis  $G_a$ , dan agregat mempunyai berat jenis efektif  $G_{se}$ . Jadi di dalam campuran dengan berat total 100 gram tersebut terdapat :

$$\text{Berat aspal} = \frac{P_a}{100} \times 100 \text{ (gram)} = P_a \text{ (gram)}$$

$$\text{Volume aspal} = \frac{P_a}{G_a} \text{ (cm}^3\text{)}$$

Volume aspal sebanyak  $P_a/G_a$  ( $\text{cm}^3$ ) ini menunjukkan volume aspal yang menyelimuti agregat ditambah volume aspal yang masuk ke dalam pori masing-masing agregat.

$$\text{Berat aspal} = \frac{P_s}{100} \times 100 \text{ (gram)} = P_s \text{ (gram)}$$

$$\text{Volume aspal} = (P_s/G_{se}) \text{ cm}^3$$

Volume agregat sebesar  $P_s/G_{se}$  ini menunjukkan volume masif agregat ditambah pori yang tidak dapat diresapi oleh aspal. Jika tidak ada pori tersisa didalam beton aspal yang belum dipadatkan ini, maka volume beton aspal adalah :

$$\frac{P_a}{G_a} + \frac{P_s}{G_{se}} \text{ cm}^3$$

Jadi  $G_{mm}$  dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$G_{mm} = \frac{100}{\left(\frac{P_s}{G_{se}}\right) + \left(\frac{P_a}{G_a}\right)} \dots\dots\dots (3.5)$$

dimana :

- $G_{mm}$  = berat jenis maksimum beton aspal teorities, ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
- $P_s$  = kadar agregat terhadap berat beton aspal padat, (%)
- $P_a$  = kadar aspal terhadap berat beton aspal padat, (%)
- $G_{se}$  = berat jenis efektif agregat pembentuk beton aspal padat, ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
- $G_a$  = berat jenis aspal, ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

## 2. Berat jenis *bulk* beton aspal padat ( $G_{mb}$ )

Berat jenis *bulk* dari beton aspal padat ( $G_{mb}$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$G_{mb} = \frac{B_k}{(B_{ssd} - B_a)} \dots\dots\dots 3.6$$

dimana :

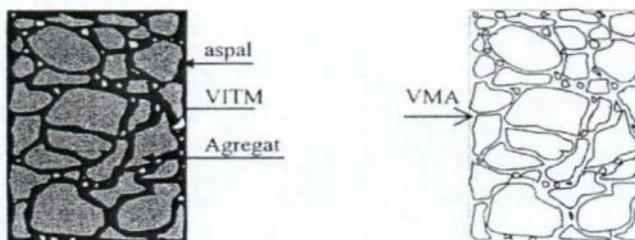
- $G_{mb}$  = berat jenis *bulk* dari beton aspal padat, ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
- $B_k$  = berat kering beton aspal padat, (gr)
- $B_{ssd}$  = berat kering permukaan beton aspal yang telah dipadatkan, (gr)
- $B_a$  = berat beton aspal padat di dalam air, (gr)

$B_{ssd} - B_a =$  Volume bulk dari beton aspal padat,  
 $B_j$  air dianggap  $1 \text{ gr/cm}^3$

### 3. Volume pori dalam agregat campuran (VMA)

Volume pori dalam agregat campuran (*VMA = voids in the mineral aggregate*) adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat dalam beton aspal padat atau volume pori dalam beton aspal padat jika seluruh selimut aspal ditiadakan dinyatakan dalam persentase. VMA diperlukan dalam campuran agregat, VMA akan meningkat jika selimut aspal lebih tebal, atau agregat yang digunakan bergradasi terbuka. Faktor-faktor yang mempengaruhi VMA antara lain struktur/distribusi target gradasi (jumlah fraksi agregat dalam campuran), ukuran diameter butir terbesar, energi pemadat, kadar aspal, tekstur permukaan, bentuk butiran, dan serapan air oleh agregat.

Gambar berikut menunjukkan ilustrasi dari VMA dan VITM.



Gambar 3.2 Ilustrasi pengertian VMA dan VITM

VMA dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$VMA = \left\{ 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \right\} \% B_{ssd} - B_a \dots\dots\dots 3.7$$

dimana :

VMA = volume pori antara agregat didalam  
 beton aspal padat

- $G_{mb}$  = berat jenis *bulk* dari beton aspal padat  
 $P_s$  = kadar agregat, % terhadap berat beton aspal padat  
 $G_{sb}$  = berat jenis *bulk* dari agregat pembentuk beton aspal padat

#### 4. Volume pori dalam beton aspal padat (VITM)

Banyaknya pori yang berada dalam beton aspal padat (*VITM = voids in the mix*) adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat yang diselimuti aspal. VITM dinyatakan dalam persentase terhadap volume beton aspal padat.

VITM merupakan volume pori yang masih tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan. VITM ini dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat, akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur. VITM yang terlalu besar akan mengakibatkan beton aspal padat berkurang kedekatan airnya (bersifat *porous*), sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan mudah teroksidasi dan akan mengurangi keawetannya atau berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal dan menurunkan sifat durabilitas beton aspal. VITM yang terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan mengalami *bleeding* jika temperatur meningkat, sehingga nilainya perlu ditetapkan dalam rentang waktu tertentu. VITM dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$VMA = \left\{ 100 \times \frac{G_{mm} \times G_{mb}}{G_{mm}} \right\} \% B_{ssd} - B_a \dots\dots\dots 3.8$$

dimana :

VITM = volume pori dalam beton aspal padat,  
% dari volume *bulk* beton aspal padat

$G_{mm}$  = berat jenis maksimum dari beton aspal yang belum dipadatkan

$G_{mb}$  = berat jenis *bulk* dari beton aspal padat

### 5. Volume pori antara butir agregat terisi aspal (VFWA = *voids filled with asphalt*)

Volume pori beton aspal padat (setelah mengalami proses pemadatan) yang terisi oleh aspal atau volume film/selimum aspal (VFWA). Persentase pori antara butir agregat yang terisi aspal dinamakan VFWA. Maka, VFWA adalah bagian dari VMA terisi oleh aspal, tidak termasuk didalamnya aspal yang terabsorpsi oleh masing-masing butir agregat. Aspal yang mengisi VFWA adalah aspal yang berfungsi untuk menyelimuti butir-butir agregat didalam beton aspal padat. VFWA inilah yang merupakan persentase volume beton aspal padat yang menjadi film atau selimum aspal.

Faktor-faktor yang mempengaruhi VFWA yaitu kadar aspal, gradasi agregat, energi pemadat (jumlah tumbukan) dan temperatur pemadatan, serapan air oleh agregat. VFWA yang terlalu besar akan dapat menyebabkan aspal naik kepermukaan pada temperatur yang tinggi, sedangkan untuk VFWA yang terlalu kecil dapat menyebabkan campuran bersifat porous dan mudah teroksidasi. VFWA dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$VFWA = \left\{ \frac{100 (VMA - VITM)}{VMA} \right\} \% \text{ dari VMA} \dots\dots\dots 3.9$$

dimana :

VFWA = volume pori antara butir agregat yang terisi aspal = % dari VMA

VMA = volume pori antara agregat didalam beton aspal padat, % dari volume bulk beton aspal padat.

VITM = volume pori dalam beton aspal padat, % dari volume *bulk* beton aspal padat

### 6. Kadar aspal terabsorpsi ke dalam pori agregat (bitumen absorpsion, $P_{ab}$ )

Aspal yang terdapat dalam beton aspal padat berfungsi sebagai penyelimut butir-butir agregat dan pengisi pori didalam masing-masing butir agregat (terabsorpsi ke dalam pori agregat), dengan jumlah aspal dalam beton aspal campuran panas yang sama banyak, maka selimut aspal lebih tipis akan terjadi pada campuran dengan agregat yang memiliki pori-pori lebih banyak dapat mengabsorpsi aspal. Hal ini berdampak pada berkurangnya durabilitas beton aspal. Sebaliknya jika yang terabsorpsi (penyerapan) sedikit maka selimut aspal akan tebal, durabilitas beton aspal lebih baik, tetapi kemungkinan terjadi *bleeding* akan menjadi besar. Banyaknya aspal yang terabsorpsi kedalam pori butir-butir agregat dinyatakan sebagai persentase dari berat campuran agregat, disebut  $P_{ab}$  dan  $P_{ab}$  dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$P_{ab} = \left\{ 100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \times G_{se}} \times G_a \right\} \% \text{ dari berat agregat ..... 3.10}$$

dimana :

- $P_{ab}$  = kadar aspal yang terabsorpsi kedalam pori butir agregat  
= % dari berat agregat
- $G_{sb}$  = berat jenis *bulk* dari agregat pembentuk beton aspal padat
- $G_{se}$  = berat jenis efektif dari agregat pembentuk beton aspal padat
- $G_a$  = berat jenis aspal

### 7. Kadar aspal efektif yang menyelimuti agregat ( $P_{ae}$ )

Banyaknya aspal yang berfungsi menyelimuti permukaan setiap butir agregat adalah jumlah aspal yang dimasukkan ke dalam beton aspal campuran panas dikurangi bagian yang terabsorpsi ke dalam pori

setiap butir agregat. Kadar aspal ini disebut kadar aspal efektif ( $P_{ae}$ ), yang dinyatakan sebagai persentase terhadap berat beton aspal padat.  $P_{ae}$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$P_{ae} = P_a - \frac{P_{ab}}{100} \times P_s \text{ \% dari berat beton aspal padat .. 3.11}$$

dimana :

$P_{ae}$  = kadar aspal efektif yang menyelimuti butir-butir agregat, % terhadap berat beton aspal padat

$P_a$  = kadar aspal terhadap berat beton aspal padat, %

$P_s$  = kadar agregat, % terhadap berat beton aspal padat

$P_{ab}$  = kadar aspal yang terabsorpsi ke dalam pori butir agregat, % terhadap berat beton aspal padat.

### 3.9 Durabilitas

Salah satu kondisi yang berpengaruh buruk terhadap perkerasan jalan dilihat dari sisi lingkungan dan iklim adalah terendamnya lapis perkerasan jalan oleh air laut, karena dapat menurunkan kinerja dan kekuatan konstruksi jalan. Untuk menghindari hal tersebut, maka konstruksi jalan harus dibuat dari campuran yang padat dan kedap air. Penggunaan agregat bergradasi menerus dan rapat serta kadar aspal yang tinggi akan membuat konstruksi memiliki campuran yang padat dan kedap air, karena aspal akan mengisi ruang-ruang kosong yang berada diantara agregat.

Uji rendaman penting dilakukan untuk melihat indeks kekuatan sisa (IKS) beton aspal campuran panas. Metode yang paling praktis dan sering digunakan untuk mengevaluasi IKS beton aspal campuran panas, adalah dengan cara rendaman benda uji dalam air pada temperatur dan waktu tertentu. Hal ini mampu untuk melihat penurunan kualitas perkerasan AC-WC akibat dari pengaruh air.

### 1. Indeks kekuatan sisa (*index of retained strength*)

Indeks kekuatan sisa (IKS) diperoleh melalui pengujian terhadap sifat mekanik benda uji (stabilitas dan *flow*) yang dibagi dalam dua kelompok. Kelompok pertama diuji stabilitas Marshall setelah rendaman dalam air pada temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) selama waktu  $T_1$  (dalam hari) dan kelompok dua diuji setelah rendaman pada temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) selama waktu  $T_2$  (dalam hari). *Asphalt Institute* merekomendasikan nilai IKS minimum sebesar 75%, karena pada nilai tersebut beton aspal campuran panas dianggap cukup tahan terhadap kerusakan pengaruh air. Dari nilai stabilitas Marshall yang diperoleh pada dua rendaman, ditentukan IKS Marshall dengan menggunakan persamaan berikut.

$$IKS = \frac{S_1}{S_2} \times 100\% \dots\dots\dots 3.12$$

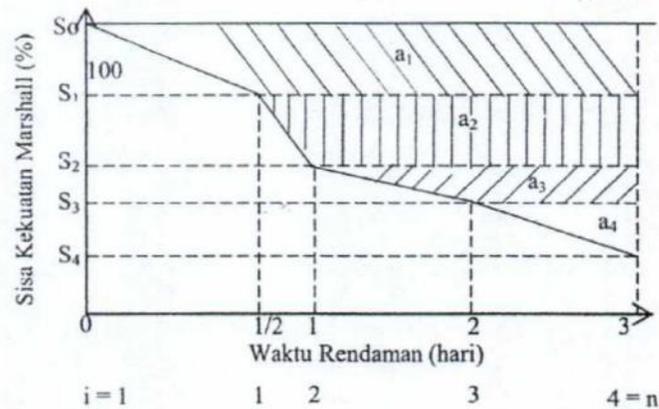
dimana :

$S_1$  = nilai rata-rata stabilitas Marshall setelah rendaman selama  $T_1$  (hari)

$S_2$  = nilai rata-rata stabilitas Marshall setelah rendaman selama  $T_2$  (hari)

IKS = indeks kekuatan sisa (%)

Penelitian "Durabilitas Beton Aspal (AC-WC) Akibat Rendaman Air Laut" ini dilakukan dengan pengujian rendaman modifikasi Marshall. Benda uji beton aspal campuran panas pada lapisan AC-WC direndam dengan air laut pada temperatur lingkungan dengan variasi periode rendaman  $\frac{1}{2}$ , 1, 2, dan 3 jam setiap harinya dalam jangka waktu 14 hari berturut-turut. Kekuatan beton aspal campuran (AC-WC) berupa nilai stabilitas yang diperoleh dari alat uji Marshall setelah direndam dengan air laut diplot dalam sebuah grafik ilustrasi skematik kurva durabilitas seperti pada gambar berikut.



Gambar 3.3 Deskripsi skematik kurva durabilitas  
(Craus et al., 1981)

Hasil dari grafik ini dapat dipakai untuk menghitung indeks durabilitas pertama (*IDP*) dan indeks durabilitas kedua (*IDK*).

## 2. Indeks durabilitas

Craus dkk (1981) menyatakan bahwa kriteria rendaman satu hari tidak selalu mencerminkan sifat durabilitas dari beton aspal campuran panas setelah beberapa waktu masa rendaman. Diusulkan indeks durabilitas harus memenuhi kriteria seperti cukup rasional, menggambarkan ketahanan dan potensi durabilitas untuk suatu rentang masa rendaman dan dapat memberikan gambaran perbedaan perubahan dalam rentang masa rendaman dalam suatu kurva durabilitas, untuk itu dikenalkan indeks durabilitas pertama dan indeks durabilitas kedua.

### a. Indeks durabilitas pertama (*r*)

Indeks durabilitas pertama (*r*) didefinisikan sebagai jumlah kemiringan dari setiap bagian yang berurutan

dari kurva durabilitas. Indeks durabilitas pertama ( $r$ ), dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$r = \sum_{t=0}^{n-1} \frac{S_t - S_{t+1}}{t_{i+1} - t_i} \dots\dots\dots 3.13$$

dimana :

- $r$  = indeks durabilitas pertama
- $S_{i+t}$  = prosentase kekuatan sisa pada waktu  $t_{i+1}$
- $S_i$  = prosentase kekuatan sisa pada waktu  $t_i$
- $t_i, t_{i+1}$  = periode rendaman (dimulai dari awal pengujian)

untuk perhitungan setelah rendaman  $\frac{1}{2}$ , 1, 2, dan 3 jam setiap harinya dalam jangka waktu 14 hari, persamaan (3.15) menjadi :

$$r = \frac{S_0 - S_1}{0,5} + \frac{S_1 - S_2}{1} + \frac{S_2 - S_3}{1} \dots\dots\dots 3.14$$

Biasanya Indeks Durabilitas Pertama ( $r$ ) menggambarkan persentase kehilangan kekuatan yang dibobotkan untuk pengujian satu hari. Nilai " $r$ " yang positif mengindikasikan kehilangan kekuatan sedangkan nilai negatif mengindikasikan adanya perolehan kekuatan. Kasus dimana contoh sampel hancur dan gagal pada uji rendaman kurang dari satu hari (24 jam) nilai " $r$ " dapat lebih besar dari 100 persen. Indeks durabilitas pertama ( $r$ ) dalam bentuk nilai mutlak hilangnya kekuatan tertimbang ( $R$ ) dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$R = \frac{r}{100} \times S_0 \dots\dots\dots 3.15$$

b. Indeks durabilitas kedua (a)

Indeks durabilitas kedua (a) didefinisikan sebagai rata-rata luas daerah kehilangan kekuatan yang terletak antara kurva durabilitas dan garis  $S_0 = 100\%$ , dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$a = 1/t_n \sum_{i=0}^{n-1} a_i \dots\dots\dots 3.16$$

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

dimana :

$S_{i+1}$  = prosentase kekuatan sisa pada waktu  $t_{i+1}$

$S_i$  = prosentase kekuatan sisa pada waktu  $t_i$

$t_i, t_{i+1}$  = periode rendaman (dimulai dari awal pengujian)

$t_n$  = total waktu rendaman

Indeks durabilitas ini juga menggambarkan kehilangan kekuatan. Nilai positif dari (a) menyatakan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai negatif sebagai pertambahan kekuatan. Berdasarkan definisi ini,  $a < 100$ , persamaan 3.17 memungkinkan untuk menyatakan persentase ekivalen kekuatan sisa.

$$\dot{S}a = 100 - a \dots\dots\dots 3.18$$

Indeks durabilitas kedua dapat didefinisikan ke dalam bentuk nilai mutlak absolut dari ekivalen kehilangan kekuatan (A) atau kekuatan sisa ( $\dot{S}a$ ) persamaan 3.20.

$$A = \frac{a}{100} \times S_o \dots\dots\dots 3.19$$

dan

$$\dot{S}a = S_o - A \dots\dots\dots 3.20$$

### 3.10 Periode Rendaman

Periode rendaman perkerasan beton aspal (AC-WC) oleh air laut dalam satu hari (24 jam) sangat tergantung pada seberapa dekatnya konstruksi jalan itu sendiri dari pantai dan fluktuasi muka air laut yang disebabkan oleh pasang surut, gelombang, angin dan tsunami dengan periode waktu berbeda-beda (sangat variatif).

Periode pasang surut antara satu tempat dengan tempat lain tidaklah sama. Disuatu daerah dalam satu hari dapat terjadi satu kali atau dua kali pasang surut. Secara umum pasang surut diberbagai daerah dapat dikelompokkan dalam empat tipe, yaitu :

- a. Pasang surut harian ganda  
Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan tinggi yang hampir sama dan pasang surut terjadi secara berurutan secara teratur. Periode pasang surut rata-rata adalah 12 jam 24 menit.
- b. Pasang surut harian tunggal  
Dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut. Periode pasang surut rata-rata adalah 12 jam 24 menit.
- c. Pasang surut campuran condong ke harian ganda  
Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda.
- d. Pasang surut campuran condong ke harian tunggal  
Dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda.

Selain keempat tipe tersebut, juga dikenal pasang surut purnama. Pasang surut purnama adalah pasang surut yang lebih besar dari hari-hari lainnya. Hal ini disebabkan posisi bumi-bulan-matahari kira-kira berada pada satu garis lurus, sehingga gaya tarik bulan dan matahari terhadap bumi saling memperkuat. Dalam keadaan ini terjadi pasang surut purnama, sekitar tanggal 5-10 setiap bulannya.

Gelombang yang datang dari laut menuju pantai menyebabkan fluktuasi muka air laut. Pada waktu gelombang pecah akan terjadi penurunan elevasi muka air rerata terhadap elevasi muka air diam di sekitar

lokasi gelombang pecah. Kemudian dari titik dimana gelombang pecah permukaan air merata miring keatas ke arah pantai. Naiknya muka air ini disebut dengan kenaikan muka air karena gelombang, yang dapat terjadi mulai beberapa menit.

Angin dengan kecepatan besar yang terjadi diatas permukaan laut dapat membangkitkan fluktuasi muka air laut yang besar disepanjang pantai jika badai tersebut cukup kuat dan daerah pantai dangkal dan luas. Besarnya perubahan elevasi muka air tergantung pada kecepatan angin, *fetch*, kedalaman air, dan kemiringan dasar. Kenaikan muka air ini dapat menyebabkan genangan yang luas didaratan. Gelombang angin biasanya terjadi dalam waktu yang bersamaan dengan proses alam yang lainnya, seperti pasang surut. Naiknya muka air akibat angin dapat terjadi sampai beberapa hari. Tsunami adalah gelombang yang terjadi karena gempa bumi atau letusan gunung api di laut. Gelombang yang terjadi bervariasi dari 0,5 meter sampai 30 meter dengan periode dari beberapa menit sampai dengan satu jam.

Berdasarkan hal diatas maka penelitian "Durabilitas Beton Aspal (AC-WC) Akibat Rendaman Air Laut" digunakan periode waktu rendaman dengan rentang waktu  $\frac{1}{2}$ , 1, 2, dan 3 jam selama 14 hari berturut-turut dengan temperatur mengikuti keadaan di lapangan. Setelah keseluruhan benda uji direndam sesuai dengan periode waktu yang diinginkan dilakukan pengujian Marshall, untuk itu semua benda uji akan direndam dalam air laut selama  $\pm 30$  menit dalam *waterbath* dengan temperatur 60°C.

## Prosedur Penelitian

### 4.1 Bahan Penelitian

Penelitian "Durabilitas Beton Aspal (AC-WC) Akibat Rendaman Air Laut" dilaksanakan pada Laboratorium Teknik Transportasi.

1. Agregat  
Material agregat kasar, halus dan *filler* (debu batu) seluruhnya berasal dari sungai.
2. Aspal  
Sebagai bahan pengikat/perekat digunakan aspal keras dengan penetrasi 60/70 atau dengan istilah AC 60/70 produksi PT. Pertamina.
3. Air Perendam  
Air yang dipakai sebagai rendaman adalah air murni untuk uji rendaman standar dan air laut untuk menguji durabilitas berdasarkan rendaman modifikasi Marshall.

### 4.2 Peralatan Penelitian

Keberhasilan penelitian sangat ditentukan oleh tersediannya peralatan pengujian dalam keadaan baik (memenuhi syarat). Untuk itu digunakan peralatan yang tersedia di Laboratorium Teknik Transportasi, yang meliputi :

1. Peralatan pemeriksaan agregat, terdiri dari :

- a. Mesin Los Angeles untuk mengukur keausan/abrasi
  - b. Satu set saringan untuk menentukan gradasi
  - c. Tabung *sand equivalent*
  - d. Peralatan ukur berat jenis
  - e. Peralatan ukur keawetan/kekekalan
2. Peralatan pemeriksaan aspal, terdiri dari :
- a. Peralatan ukur penetrasi (jarum penetrasi)
  - b. Peralatan ukur titik lembek (*Ring & ball*)
  - c. Peralatan ukur daktilitas
  - d. Peralatan ukur titik nyala (*Cleveland open cup*)
  - e. Peralatan uji kehilangan berat
  - f. Peralatan ukur kelarutan
  - g. Peralatan ukur berat jenis (piknometer)
3. Peralatan pembuatan benda uji, terdiri dari :
- a. Cetakan benda uji berbentuk silinder ukuran diameter 101,6 mm (4") dan tinggi 75 mm (3").
  - b. Marshall *Hammer* ukuran diameter 98,4 mm (3<sup>7</sup>/<sub>8</sub>"), berat 4,5 kg (10 lbs) dengan tinggi jatuh 457 mm (18").
  - c. Timbangan kapasitas 5 kg, ketelitian 1 gr dan kapasitas 2 kg, ketelitian 0,1 gr.
  - d. *Ejector* untuk melepaskan benda uji setelah dipadatkan.
  - e. Peralatan pendukung untuk membuat benda uji berupa oven, termometer, panci pecampur, sendok pengaduk, pemanas aspal, dan lain-lain.
4. Peralatan untuk uji parameter Marshall, terdiri dari :
- a. Mesin tekan (desak) terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung (*breaking head*), cincing penguji berkapasitas 2500 kg (5500 lbs) yang dilengkapi dengan arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm (0,0001"). Cincin penguji dilengkapi dengan arloji pengukur kelelahan plastis (*flowmeter*) dengan ketelitian 0,25 cm (0,01").

- b. Peralatan penunjang untuk uji Marshall berupa pemadat (berat 4,536 kg) dan tinggi jatuh 45,7 cm, timbangan elektrik, pengukur tinggi benda uji, dan *ejector*.
5. Alat untuk uji potensi durabilitas, terdiri dari :
    - a. Bak perendam
    - b. *Thermometer*

#### 4.3 Perancangan Benda Uji Penelitian

Perancangan benda uji untuk penelitian : "Durabilitas Beton Aspal (AC-WC) Akibat Rendaman Air Laut" " dikelompokkan dalam 3 bagian, yaitu :

##### 1. Gradasi target penelitian

Perancangan benda uji beton aspal campuran panas harus menghasilkan campuran yang baik, untuk itu dipakai gradasi menerus dan rapat seperti disyaratkan dalam spesifikasi Depkimpraswil.

Gradasi target tersebut disusun berdasarkan batas bawah dan batas atas yang disyaratkan, guna mendapatkan campuran gradasi yang sesuai.

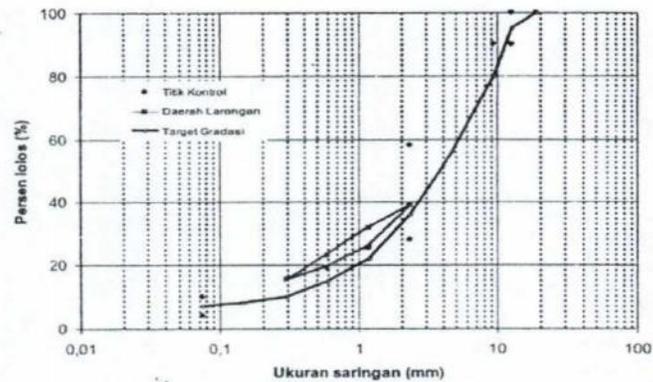
Agregat batu pecah kasar adalah yang lolos mulai saringan terbesar 1,5" dan 1", tetapi agregat yang lolos saringan 1,5" dan 1" tidak digunakan untuk campuran aspal Ac-WC melainkan hanya untuk agregat kelas A dan kelas B.

Agregat yang dipakai adalah yang lolos saringan mulai dari 3/4", 1/2", 3/8", #4, dan #8 sebagai agregat kasar dengan persentase agregat yang lolos sebanyak 64% dari total agregat.

Agregat halus mulai dari saringan #16, #30, #50, dan #100 persentase agregat yang lolos sebanyak 29% dari total agregat dan sebagai *filler* yang lolos saringan No. 200 sebanyak 7% dari total agregat, seperti pada tabel dan gambar berikut ini.

Tabel 4.1. Gradasi agregat

Saringan		Spesifikasi Depkimpraswil (2002)		% Lolos	
Metrik (mm)	AST M	% lolos		Target gradasi	Terhadap total
		Titik kontrol	Daerah larangan		
37,5	1,5"	-		-	64
25	1"	-		-	
19	¾"	100		100	
12,5	½"	90 – 100		95	
9,5	3/8"	Maks. 90		80	
4,75	#4			56	
2,36	#8	28 -58	39,1	36	
1,19	#16		25,6 – 31,6	22	29
0,60	#30		19,1 – 23,1	15	
0,30	#50		15,5	10	
0,149	#100			8	
0,075	#200	4 - 10		7	



Gambar 5.1 Gradasi agregat

## 2. Variasi benda uji penelitian

Benda uji yang dibuat untuk penelitian ini bervariasi berdasarkan kadar aspal optimum (KAO), nilai KAO menjadi patokan untuk membuat variasi benda uji. Benda uji dibuat dengan 4 variasi, yaitu :

pada KAO, penambahan kadar aspal 0,25% dari KAO, penambahan kadar aspal 0,5% dari KAO, dan penambahan kadar aspal 1% dari KAO, sementara gradasi yang digunakan tetap sama dengan gradasi pada tabel 5.1 dan gambar 5.1. Variasi berdasarkan kadar aspal dibuat untuk melihat potensi dari jumlah aspal terhadap tingkat durabilitas beton aspal campuran panas. Keempat variasi kadar aspal pada masing-masing benda uji dibuat sebanyak 3 buah.

Variasi dari masing-masing benda uji akan dilanjutkan dengan uji Marshall, uji rendaman (*Marshall immersion*) 24 jam dengan air murni, dan uji rendaman (*immersion modification*) dengan periode waktu rendaman ½, 1, 2, dan 3 jam selama 14 hari berturut dengan air laut seperti pada tabel berikut.

Tabel 4.2. Variasi benda uji penelitian

Uji Marshall standar						
No. Benda uji	Variasi kadar aspal (%)				Jumlah	
	KAO	KAO + 0,25%	KAO + 0,5%	KAO + 1%		
1	3	3	3	3	12	
Uji rendaman ( <i>Marshall immersion</i> ) 24 jam						
No. Benda uji	Variasi kadar aspal (%)				Jumlah	
	KAO	KAO + 0,25%	KAO + 0,5%	KAO + 1%		
1	3	3	3	3	12	
Uji Rendaman ( <i>immersion modification</i> ) dengan air laut						
No. Benda uji	Periode rendaman (jam)	Variasi kadar aspal (%)				Jumlah
		KAO	KAO + 0,25%	KAO + 0,5%	KAO + 1%	
1	½	3	3	3	3	12
2	1	3	3	3	3	12
3	2	3	3	3	3	12
4	3	3	3	3	3	12

### 3. Jumlah benda uji penelitian

Penentuan jumlah benda uji berdasarkan kebutuhan untuk melaksanakan penelitian ini. Langkah pertama yang dilakukan untuk membuat perancangan benda uji adalah menentukan kadar aspal tengah ( $P_b$ ). Kadar aspal tengah diperoleh dengan menggunakan persamaan,  $P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\% \text{ Filler}) + K$ , dengan gradasi agregat seperti tabel 5.1 dan diambil konstanta 0,75, maka diperoleh  $P_b$  sebesar 5,5%.

Kadar aspal tengah menjadi nilai patokan membuat benda uji untuk memperoleh nilai kadar aspal optimum (KAO). Kadar aspal optimum beton aspal campuran panas pada lapisan AC-WC dapat dicari dengan penambahan dan pengurangan sebesar 0,5% dan 1% dari kadar aspal tengah, dengan jumlah masing-masing benda uji 3 buah sesuai dengan kadar aspalnya. Penentuan KAO membutuhkan benda uji sebanyak 15 buah.

Pengujian Marshall standar memerlukan benda uji sebanyak 12 buah, dengan KAO dibuat 3 buah benda uji, penambahan kadar aspal 0,25% dari KAO dibuat 3 buah benda uji, penambahan kadar aspal 0,5% dari KAO dibuat 3 buah benda uji, dan untuk 1% dari KAO juga dibuat 3 buah. Uji rendaman (*Marshall immersion*) 24 jam juga memerlukan benda uji sebanyak 12 buah. KAO dibuat 3 buah benda uji dan untuk penambahan kadar aspal 0,25%, 0,5%, dan 1% dari KAO juga dibuat benda uji masing-masing sebanyak 3 buah

Pengujian rendaman (*immersion modification*) dengan air laut membutuhkan benda uji sebanyak 48 buah. Kadar aspal yang digunakan dalam pengujian ini adalah pada KAO, penambahan kadar aspal 0,25%, 0,5%, dan 1% dari KAO. Periode rendaman ½ jam membutuhkan 3 buah benda uji, begitu juga dengan

periode rendaman 1,2, dan 3 jam juga membutuhkan benda uji masing-masing sebanyak 3 buah. Jumlah benda uji dalam penelitian ini seperti pada tabel berikut.

Tabel 4.3. Jumlah benda uji dalam penelitian

Perancangan kadar aspal optimum						
No. Benda uji	Kadar aspal (%)					Jumlah
	4,5	5	Pb	6	6,5	
1	3	3	3	3	3	15
Uji Marshall standar						
No. Benda uji	Kadar aspal (%)				Jumlah	
	KAO	KAO + 0,25%	KAO + 0,5%	KAO + 1%		
1	3	3	3	3	12	
Uji rendaman ( <i>Marshall immersion</i> ) 24 jam						
No. Benda uji	Kadar aspal (%)				Jumlah	
	KAO	KAO + 0,25%	KAO + 0,5%	KAO + 1%		
1	3	3	3	3	12	
Uji rendaman: ( <i>immersion modification</i> ) dengan air laut						
No. Benda uji	Periode rendaman (jam)	Kadar aspal (%)				Jumlah
		KAO	KAO + 0,25%	KAO + 0,5%	KAO + 1%	
1	½	3	3	3	3	12
2	1	3	3	3	3	12
3	2	3	3	3	3	12
4	3	3	3	3	3	12
Total benda uji						87

#### 4.4 Variasi Rendaman Benda Uji

Pengaruh air laut terhadap perkerasan beton aspal campuran panas dapat dianalisis dengan merendam benda uji kedalam air laut yang ada dalam

bak perendam, pada penelitian ini lama rendaman benda uji adalah  $\frac{1}{2}$ , 1, 2, dan 3 jam selama 14 hari berturut-turut dengan temperatur air dalam bak perendam mengikuti kondisi lingkungannya.

Pemilihan waktu rendaman selama  $\frac{1}{2}$  jam setiap harinya, disebabkan banyak jalan di daerah pesisir yang terendam air laut selama waktu tersebut, seperti di daerah pesisir Aceh. Bulan-bulan tertentu seperti pada akhir bulan Desember atau awal Januari limpasan gelombang air laut lebih jauh dari keadaan normal, yang disebabkan oleh pengaruh angin (angin barat), sehingga rendaman air laut terhadap perkerasan dapat mencapai 3 jam setiap harinya, seperti di daerah Ujungblang, Kota Lhokseumawe, Aceh. Pemilihan waktu 1 dan 2 jam adalah merupakan rentang waktu antara  $\frac{1}{2}$  dan 3 jam, sehingga dapat dilihat persentase kerusakannya.

Temperatur air dalam bak perendam mengikuti keadaan lingkungan untuk lebih mendekati penelitian dengan kondisi yang ada di lapangan, sedangkan pemilihan waktu rendaman yang dimulai pukul 12.00 sampai 15.00 WIB adalah merupakan temperatur yang paling panas, sehingga benda uji akan lebih cepat rusak pada temperatur tersebut (temperatur mempercepat reaksi). Rendaman selama 14 hari berturut-turut diharapkan benda uji sudah mulai mengalami kerusakan dan sudah dapat dianalisis tingkat durabilitasnya.

#### **4.5 Pembuatan Benda Uji**

Pembuatan benda uji untuk penelitian "Durabilitas Beton Aspal (AC-WC) Akibat Rendaman Air Laut" dilakukan dengan cara berikut :

1. Aspal yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat yang telah ditentukan, sesuai dengan spesifikasi Depkimpraswil.

2. Agregat sebelum dipakai harus dibersihkan, dikeringkan, memenuhi syarat-syarat yang telah ditentukan, dan sesuai dengan gradasi yang diinginkan
4. Jumlah agregat kasar, agregat halus dan *filler* adalah 1200 gram untuk setiap benda uji.
5. Campuran agregat kasar, agregat halus dan *filler* dengan berat yang sesuai dengan rencana campuran dipanaskan hingga temperatur  $\pm 160^{\circ}\text{C}$ .
6. Aspal dipanaskan sampai pada temperatur pencampuran  $\pm 155^{\circ}\text{C}$ .
7. Agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal diaduk sampai merata diatas alat pemanas.
8. Setelah merata campurannya, dimasukkan kedalam cetakan yang telah dipanaskan, sebelumnya sambil ditusuk-tusuk dengan spatula sebanyak 15 kali pada bagian tepi dan 10 kali pada bagian tengahnya.
9. Dilakukan pemadatan standar pada temperatur  $145^{\circ}\text{C}$  dengan alat penumbuk sebanyak  $2 \times 75$  tumbukan untuk setiap sisinya.
10. Benda uji didinginkan, setelah itu dikeluarkan dari cetakan dengan *ejector*.

#### 4.6 Pengujian Benda Uji

Setelah benda uji selesai dikerjakan dibersihkan dari kotoran yang menempel diberi tanda sebagai pengenal dan diukur tingginya dengan alat kaliper, kemudian timbang beratnya dalam timbangan dengan ketelitian 1 gram.

Selanjutnya dilanjutkan dengan pengujian standar Marshall, uji rendaman (*Marshall immersion*) 24 jam, dan uji rendaman (*immersion modification*) dengan Air Laut. Pengujian standar Marshall dilakukan dengan merendam benda uji dalam air yang ada pada *waterbath* selama 30 menit dengan temperatur  $60^{\circ}\text{C}$ ,

kemudian keringkan permukaannya untuk melakukan pengujian stabilitas dan *flow*.

Uji rendaman (*Marshall immersion*) dilakukan dengan merendam benda uji kedalam air yang ada pada *waterbath* selama 24 jam dengan temperatur 60°C, kemudian keringkan permukaannya untuk melakukan pengujian stabilitas dan *flow* dengan alat Marshall.

Uji rendaman (*immersion modification*) dilakukan menggunakan air laut, dengan periode rendaman dimulai dari ½ jam, 1 jam, 2 jam, dan terakhir selama 3 jam untuk masing-masing benda uji, setiap harinya. Pengujian rendaman ini dilakukan selama 14 hari berturut-turut, dimana setiap benda uji akan direndam sesuai dengan waktu seperti diatas (1/2, 1, 2 dan 3 jam per hari selama 14 hari berturut-turut). Rendaman dilakukan dengan menggunakan bak perendam yang diisikan benda uji, kemudian diletakkan diluar laboratorium, agar temperaturnya mengikuti keadaan lingkungan. Air laut akan diganti setiap 3 hari, untuk mengurangi perubahan komposisi/konsentrasi dari komponen air akibat penguapan. Waktu rendaman dimulai jam 12.00 WIB setiap harinya, seperti pada tabel berikut.

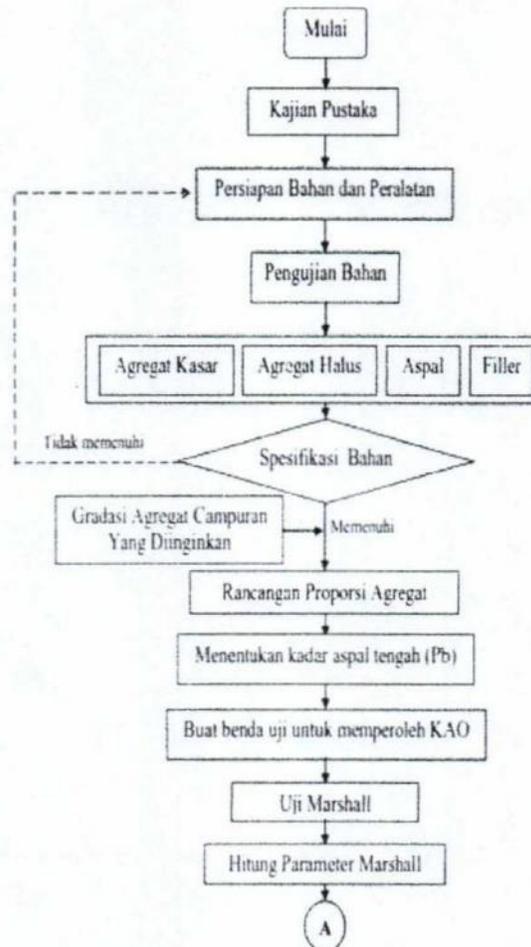
Tabel 5.4. Waktu rendaman

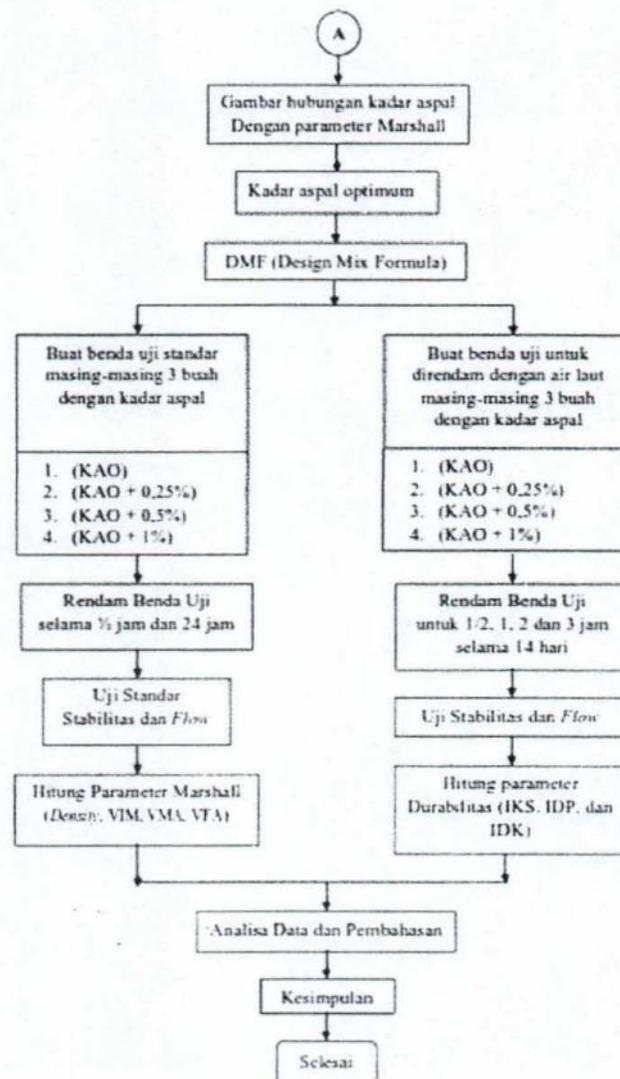
No. Benda uji	Jumlah benda uji	Periode rendaman (jam)	Mulai rendaman (WIB)	Akhir rendaman (WIB)
1	12	½	12.00	12.30
2	12	1	12.00	13.00
3	12	2	12.00	14.00
4	12	3	12.00	15.00

#### 4.7 Bagan Alir Penelitian

Penelitian "Durabilitas Beton Aspal (AC-WC) Akibat Rendaman Air Laut" " dimulai dengan melakukan

kajian pustaka mengenai durabilitas pada campuran beton aspal. Setelah itu dilakukan penyiapan peralatan dan bahan, untuk melakukan pengujian bahan yang memenuhi spesifikasi Depkimpraswil, dilanjutkan dengan tahapan-tahapan seperti pada bagan alir berikut ini.





Gambar 4.2 Gambar Diagram Alir Penelitian

## Hasil Penelitian

### 5.1 Pengujian Bahan

Bahan atau material yang dipakai untuk beton aspal campuran panas (AC-WC) terdiri dari aspal keras AC 60/70, agregat berupa batu pecah, dan sebagai *filler* digunakan debu batu.

Material yang digunakan untuk beton aspal campuran panas (AC-WC) harus memenuhi spesifikasi, agar menghasilkan beton aspal campuran panas (AC-WC) yang memenuhi spesifikasi teknik, sebagaimana telah ditentukan dalam spesifikasi Depkimpraswil.

#### 1. Pengujian aspal keras AC 60/70

Aspal yang dipakai sebagai bahan pengikat pada beton aspal campuran panas (AC-WC) harus diperiksa, agar sesuai dengan spesifikasi yang telah disyaratkan. Pemeriksaan aspal ini terdiri dari pemeriksaan rutin berupa penetrasi aspal, titik lembek, titik bakar, kehilangan berat, kelarutan, daktilitas, penetrasi setelah kehilangan berat dan berat jenis aspal.

Aspal yang tidak memenuhi syarat dapat mengakibatkan lemahnya daya ikat aspal dengan agregat atau aspal tidak mampu mengikat agregat dan mempertahankan ikatannya karena aspal sudah kehilangan daya ikatnya. Hal ini disebabkan aspal yang merupakan hasil residu minyak bumi sudah kehilangan beberapa unsur yang berfungsi sebagai pengikat.

Hasil pemeriksaan aspal keras AC 60/70 di ditabulasikan pada tabel berikut.

Tabel 5.1 Hasil Pemeriksaan Aspal

No.	Sifat aspal	Persyaratan		Hasil	Satuan
		Min	Mak		
1	Penetrasi 25°C (5 detik)	60	79	66,7	0,1 mm
2	Titik lembek ( <i>ring &amp; ball</i> )	45	58	48,5	°C
3	Titik nyala ( <i>clv. Open cup</i> )	200	-	337	°C
4	Kehilangan berat 163°C (5 jam)	-	0,4	0,08 7	% berat
5	Kelarutan (CCL <sub>4</sub> )	99	-	99,52	% berat
6	Daktalitas 25°C ( 5 cm/menit)	100	-	> 100	cm
7	Penetrasi setelah kehilangan berat	75	-	77,66	% semula
8	Berat jenis (25°C)	1	-	1,030	-

## 2. Pengujian agregat

Agregat yang merupakan bahan utama dari beton aspal campuran panas(AC-WC). Agregat kasar, agregat halus, dan *filler* yang dipakai harus memenuhi spesifikasi Depkimpraswil. Hasil dari pemeriksaan agregat ditabulasikan pada tabel berikut.

Tabel 5.2 Hasil Pemeriksaan Agregat

No.	Sifat Agregat	Persyaratan		Hasil	Satuan
		Min	Maks		
Agregat Kasar					
1	Keausan pada 500 putaran	-	40	33,9	%
2	Kelekatan dengan aspal	95	-	98	%
3	Penyerapan air	-	3	2,469	%
4	Berat jenis curah ( <i>bulk</i> )	2,5	-	2,532	-
5	Berat jenis semu	2,5	-	2,700	-
Agregat Halus					
1	Penyerapan air	-	3	1,958	%
2	Berat jenis curah ( <i>bulk</i> )	2,5	-	2,731	-
3	Berat jenis semu	2,5	-	2,885	-
4	<i>Sand equivalent</i>	40	-	79,66	%
Filler					
1	Berat jenis	2,5	-	2,697	-

## 5.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Aspal merupakan bahan pengikat antara agregat kasar, agregat halus, dan *filler*. Sebagai bahan pengikat kadar aspal sangat menentukan daya tahan dan stabilitas dari beton aspal campuran panas (AC-WC). Kadar aspal yang terlalu banyak dapat meningkatkan daya tahan campuran, tetapi mengurangi stabilitas campuran dan begitu juga sebaliknya, untuk itu harus diketahui kadar aspal yang paling optimum (kadar aspal optimum).

### 1. Parameter Marshall dan sifat volumetrik

Berdasarkan hasil penimbangan benda uji dan pengujian parameter Marshall dilakukan analisis untuk mengetahui nilai-nilai *density*, kadar rongga dalam agregat (VMA), rongga terhadap campuran (VITM), rongga yang terisi aspal (VFWA), stabilitas, *flow*, dan *Marshall Quotient*. Hasil dari parameter Marshall dan volumetrik dari 3 buah benda uji yang dirata-ratakan ditabulasikan pada tabel berikut.

Tabel 5.3 Hasil Parameter Marshall & Sifat Volumetrik

Kadar Aspal (%)	<i>Density</i> (gr/cm <sup>3</sup> )	VMA (%)	VITM (%)	VFWA (%)	Stabilitas (kg)	<i>Flow</i> (mm)	<i>MQ</i> (kg/mm)
4,5	2,296	15,4	8,2	46,7	893	3,0	298
5,0	2,309	15,4	7,1	53,8	1036	3,3	311
5,5	2,329	15,0	5,2	65,2	1220	3,5	349
6,0	2,328	15,5	5,1	67,4	1083	3,7	295
6,5	2,327	15,9	4,5	71,9	1023	4,0	256

### 2. Kadar aspal optimum (KAO)

Kadar aspal optimum diperoleh dengan melakukan pengujian, pertama sekali adalah menentukan kadar aspal tengah berdasarkan persamaan 3.1 dan selanjutnya membuat benda uji dengan kadar aspal tengah sebagai dasar untuk komposisi kadar aspal, kemudian dibuat benda uji

dengan kadar aspal kurang dari 0,5% dan 1% serta kadar aspal lebih dari 0,5% dan 1%. Setelah itu setiap benda uji di timbang untuk memperoleh volumetrik dan diuji dengan alat Marshall untuk memperoleh parameter Marshall. Hasilnya diplot dalam sebuah grafik seperti pada gambar berikut.

No	Kriteria	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
			4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
1	Density	-	█	█	█	█	█
2	VMA	Min. 15	█	█	█	█	█
3	VITM	4,9 – 5,9		█	█	█	
4	VFWA	> 65			█	█	█
5	Stability	800	█	█	█	█	█
6	Flow	2			█	█	
7	MQ	200	█	█	█	█	█
			5,5%				

Gambar 5.1 Kadar aspal optimum

Berdasarkan nilai parameter Marshall diperoleh nilai KAO 5,5% dari berat total agregat, seperti pada gambar 5.1 Nilai density, VMA, stability, Flow, dan MQ terpenuhi oleh setiap kadar aspal 4,5% sampai 6,5%, sedangkan VITM dan VFWA yang optimum hanya terpenuhi pada kadar aspal 5,5%.

### 3. Tebal lapisan film aspal pada kadar aspal optimum (KAO)

Tebal lapisan film aspal (*bitument film thickness*) pada suatu beton aspal campuran panas sangat menentukan durabilitas beton aspal. Semakin besar kadar aspal makin besar nilai kelelahan (*flow*), yang berarti aspal beton campuran panas tidak mudah runtuh. Tebal Whiteoak 1990, mensyaratkan tebal lapisan film aspal tidak boleh kurang dari 5 micron. Film aspal yang sangat tebal juga tidak menguntungkan bagi campuran aspal panas, karena campuran panas menjadi kurang kaku. Beton aspal campuran panas,

dengan kadar aspal optimum (KAO) tebal lapisan film aspal tertera pada tabel berikut.

Tabel 5.4 Hasil Tebal Lapisan Film Aspal pada KAO

Kadar aspal terhadap total agregat (%)	Berat jenis aspal	FLP x persen lolos (m <sup>2</sup> /kg)	Tebal Lapisan Film Aspal (micron)
5,5	1,030	5,583	7,60

### 5.3 Pengujian Standar Marshall

Pengujian standar Marshall dilakukan untuk melihat parameter Marshall berupa stabilitas, *flow*, dan *Marshall Quotient*, untuk melakukan pengujian ini dibuat kadar aspal optimum (KAO) dan penambahan 0,25% sampai 1% dari kadar aspal optimum, masing-masing benda uji dibuat sebanyak 3 buah dengan kadar aspal yang berbeda-beda (4,5%; 5,0%; 5,5%; 6,0% dan 6,5%). Pengujian dilaksanakan setelah benda uji direndam dalam air murni selama ½ jam pada temperatur 60°C. Hasil pengujian standar menjadi acuan untuk pengujian durabilitas dengan air laut. Hasil dari pengujian ditabulasikan pada tabel berikut.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Standar Marshall

No.	Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
1	4,5	893	3,0	298
2	5,0	1036	3,3	311
3	5,5	1220	3,5	349
4	6,0	1083	3,7	295
5	6,5	1023	4,0	256

### 5.4 Pengujian Durabilitas (*Marshall immersion*)

Pengujian durabilitas yang menggunakan media air murni dengan waktu rendaman 24 jam pada temperatur 60°C, merupakan pengujian durabilitas sebagai pembandingan dari hasil pengujian dengan

menggunakan media air laut. Benda uji yang telah direndam dengan air murni selama 24 jam dikeluarkan dari *waterbath* dan dilanjutkan pengujian dengan memakai alat Marshall, guna pemeriksaan stabilitas dan *flow*. Pengujian ini diperlukan sebagai pembandingan dari hasil pengujian yang dilakukan dengan media air laut. Hasil dari pengujian durabilitas (*Marshall immersion*).

Tabel 5.6 Hasil *Marshall Immersion*

No.	Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
1	5,50	1016	4,0	253
2	5,75	960	4,1	235
3	6,00	922	4,2	222
4	6,50	879	4,3	206

### 5.5 Pengujian *Immersion Modification*

Pengujian durabilitas dilakukan dengan media air laut dengan periode waktu rendaman ½, 1, 2, dan 3 jam setiap hari selama 14 hari berturut-turut dengan temperatur berdasarkan keadaan lingkungan. Setelah direndam selama 14 hari berturut-turut dengan periode waktu ½, 1, 2, dan 3 jam dilaksanakan pengujian dengan menggunakan alat Marshall, dimana terlebih dahulu benda uji kembali direndam dengan air laut dalam *waterbath* selama ½ jam pada temperatur 60°C, kemudian dilaksanakan pengujian dengan alat Marshall, guna memeriksa stabilitas dan *flow*, sedangkan nilai *Marshall Quotient* merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Pengujian ini merupakan pengujian modifikasi dari *Marshall Immersion*. Pengujian ini mendekati dengan kondisi lingkungan, karena rendaman ini mengikuti temperatur lingkungan dengan masa rendaman yang dibuat berbagai periode waktu rendaman. Hasil pengujian stabilitas dan *flow* dengan alat Marshall dan nilai *Marshall Quotient* ditunjukkan pada tabel berikut 5.7 sampai dengan tabel 5.10.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Durabilitas Aspal 5,50%

No.	Periode Rendaman (jam)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
1	½	1074	3,7	290
2	1	1045	3,8	278
3	2	1043	3,8	277
4	3	1037	3,8	271

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Durabilitas Aspal 5,75%

No.	Periode rendaman (jam)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
1	½	1024	3,8	268
2	1	996	3,9	256
3	2	995	4,0	249
4	3	978	4,1	237

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Durabilitas Aspal 6,00%

No.	Periode rendaman (jam)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
1	½	1013	3,9	260
2	1	985	4,0	249
3	2	975	4,1	240
4	3	963	4,2	228

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Durabilitas Aspal 6,50%

No.	Periode rendaman (jam)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
1	½	966	4,1	234
2	1	964	4,2	231
3	2	949	4,3	219
4	3	943	4,4	214

Nilai stabilitas benda uji standar yang direndam dengan air murni selama 30 menit dengan temperatur rendaman 60°C dan besarnya penurunan nilai stabilitas beton aspal campuran panas (AC-WC) setelah direndam air laut dengan periode rendaman ½, 1, 2, dan 3 jam selama 14 hari berturut-turut berdasarkan kadar aspal

5,5%, 5,75%, 6%, dan 6,5% ditunjukkan dalam tabel berikut.

Tabel 5.11 Stabilitas Berdasarkan Kadar Aspal dan Periode Rendaman

Periode rendaman (jam)	Kadar aspal 5,50%		Kadar aspal 5,75%		Kadar aspal 6,00%		Kadar aspal 6,50%	
	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)
standar	1220	100,0	1136	100,0	1083	100,0	1023	100,0
½	1074	88,0	1024	90,1	1013	93,5	966	94,4
1	1045	85,7	996	87,7	985	91,0	964	94,2
2	1043	85,5	995	87,6	975	90,0	949	92,8
3	1037	85,0	978	86,1	963	88,9	943	92,2

### 1. Indeks durabilitas

Berdasarkan pengujian rendaman (*Marshall immersion*) diperoleh indeks kekuatan sisa (IKS), yang merupakan formula-formula untuk menentukan tingkat kekuatan sisa, setelah benda uji direndam dengan air laut. indeks durabilitas pertama (IDP) merupakan tingkat keawetan benda uji setelah direndam selama satu hari (24 jam), dan indeks durabilitas kedua (IDK) merupakan tingkat keawetan benda uji setelah direndam selama lebih dari satu hari dan sesuai variasi rencana. Besarnya IKS, IDP, dan IDK ditunjukkan dalam tabel berikut.

Tabel 5.12 Indeks Kekuatan Sisa pada Berbagai Kadar Aspal

No.	Kadar Aspal (%)	Marshall Stabilitas awal (kg)	IKS (%)	Indeks Durabilitas Pertama		Indeks Durabilitas Kedua			
				r (%)	R (kg)	Kehilangan Kekuatan		Kekuatan Sisa	
						a (%)	A (kg)	$\bar{s}_a$ (%)	$\bar{s}_a$ (kg)
1	5,50	1220	85,0	50,3	614	14,0	171,3	86,0	1048,7
2	5,75	1136	86,1	45,0	511	12,7	143,7	87,4	992,3
3	6,00	1083	88,9	34,5	374	9,9	107,2	90,1	975,9
4	6,50	1023	92,2	23,3	238	7,0	71,8	93,0	951,2

## 2. Tebal lapisan film aspal

Berdasarkan kadar aspal yang digunakan untuk uji durabilitas dengan rendaman air laut selama periode rendaman ½, 1, 2, dan 3 jam diperoleh tebal masing-masing lapisan film aspal seperti pada tabel berikut.

Tabel 5.13 Tebal Lapisan Film Aspal pada Beberapa Kadar Aspal

Kadar Aspal Terhadap Total Agregat	Berat Jenis Aspal	<i>Aggregate Surface Area</i> (m <sup>2</sup> )	Tebal Lapisan Aspal ( <i>micron</i> )
5,50	1,030	5,583	7,60
5,75	1,030	5,583	8,04
6,00	1,030	5,583	8,47
6,50	1,030	5,583	9,34

## Pembahasan

### 6.1 Pengujian Bahan

Sebelum menggunakan material-material untuk beton aspal campuran panas lapisan AC-WC pada perkerasan jalan, harus dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan untuk mengetahui spesifikasi dari bahan yang akan dipakai, apakah telah sesuai dengan persyaratan yang ditentukan bila tidak memenuhi kriteria yang disyaratkan, maka bahan-bahan tersebut tidak boleh digunakan untuk beton aspal campuran panas (AC-WC) atau untuk mengetahui layak tidaknya suatu material digunakan berdasarkan suatu spesifikasi atau kriteria teknik. Pengujian bahan dilakukan sesuai dengan tata cara pemeriksaan bahan yang sudah lazim dipakai, sesuai dengan standar yang ada.

#### 1. Pengujian aspal

Pengujian yang dilakukan terhadap aspal AC 60/70 menghasilkan kriteria aspal seperti pada tabel 5.1. bab sebelumnya, yang berarti dapat digunakan sebagai bahan perekat pada beton aspal campuran panas (AC-WC) untuk pengujian durabilitas perkerasan akibat rendaman air laut.

#### 2. Pengujian agregat

Hasil pengujian terhadap agregat kasar (batu pecah), agregat halus (batu pecah), dan *filler* menghasilkan kriteria seperti yang disyaratkan dalam

spesifikasi Depkimpraswil, hasil pengujian agregat seperti pada tabel 5.2 bab sebelumnya.

## 6.2 Formula Perancangan Campuran

Formula perancangan campuran dibutuhkan untuk menghasilkan suatu campuran beton aspal yang kokoh, kuat, dan tidak mudah berubah bentuk serta ekonomis. Hal tersebut dapat tercapai bila parameter-parameter yang berhubungan dengan formula perancangan campuran memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan.

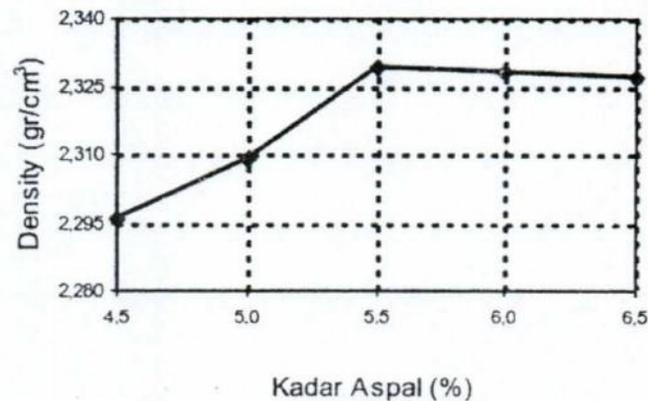
Parameter-parameter yang berhubungan dengan formula perancangan campuran berupa rongga udara dalam campuran yang terdiri dari *void in mineral aggregate (VMA)*, *void in the mix (VITM)*, *void filled with asphalt (VFWA)*, stabilitas, *flow*, dan *Marshall Qoutient (MQ)*. Keseluruhan parameter tersebut harus memenuhi syarat yang telah ditetapkan berdasarkan rencana beban lalulintas dalam beton aspal campuran panas untuk menghasilkan komposisi campuran yang optimal.

Berdasarkan rencana gradasi agregat dan persentase kadar aspal, dari penelitian diperoleh nilai-nilai dari VMA, VITM, VFWA, stabilitas, *flow*, dan MQ. Berdasarkan nilai-nilai tersebut dicari dan ditetapkan kadar aspal otimum (KAO) sebesar 5,5% berdasarkan persentase berat agregat, dengan kadar aspal 5,5% menghasilkan beton aspal campuran panas yang optimal.

### 1. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Kepadatan (*density*)

Pengaruh kepadatan campuran sangat ditentukan oleh proses pemadatan, temperatur, gradasi agregat, dan kadar aspal. Penambahan kadar aspal sampai pada jumlah tertentu akan memberikan

kepadatan yang optimum hal ini disebabkan aspal sebagai pelumas dalam proses pemadatan, sehingga butir-butir agregat akan mudah dipadatkan. Kepadatan akan turun bila kadar aspal terlalu sedikit karena dalam proses pemadatan akan terjadi gesekan antara permukaan butir-butir agregat, dan bila kadar aspal terlalu banyak maka aspal tidak sebagai pelumas lagi melainkan akan menjadi pengisi rongga-rongga (lapisan film aspal terlalu tebal), sehingga kerapatan campuran menjadi kecil. Oleh karenanya kadar aspal dalam campuran haruslah mencapai nilai optimum agar kepadatan campuran aspal mencapai nilai maksimum. Tanpa mengurangi rongga yang harus disiapkan untuk kepadatan refusal dalam masa pelayanan jalan, dan pemuatan aspal saat temperatur panas.

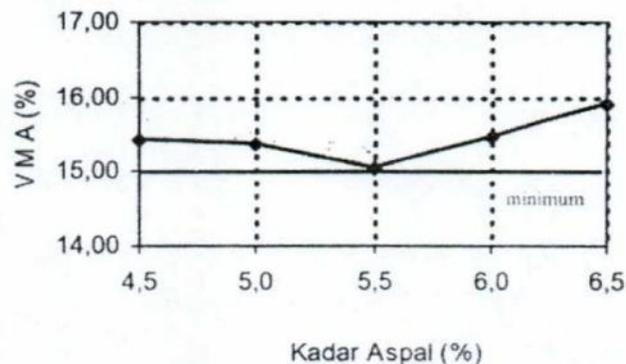


Gambar 6.1 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *Density*

Kadar aspal 4,5% sampai dengan 5% dari berat agregat, kepadatan campuran aspal panas terus naik dan menghasilkan kepadatan yang optimum pada kadar aspal 5,5%. Kepadatan campuran selanjutnya akan turun pada kadar aspal 6% sampai dengan 6,5% dari berat agregat.

## 2. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *Voids In Mineral Aggregate (VMA)*

Agregat bergradasi bergradasi rapat memberikan rongga antara butiran agregat (VMA) yang kecil. VMA yang kecil mengakibatkan aspal yang menyelimuti butir-butir agregat terbatas dan menghasilkan lapisan film aspal yang tipis. Film aspal yang tipis mengakibatkan butir-butir agregat mudah lepas, menjadikan perkerasan mudah rusak. Pemakaian aspal yang banyak mengakibatkan aspal tidak dapat lagi menyelimuti butir-butir agregat dengan baik karena VMA yang kecil dan juga menghasilkan VITM yang kecil, adanya repetisi beban lalulintas yang menambah pemadatan lapisan yang mengakibatkan lapisan aspal meleleh keluar (*bleeding*).



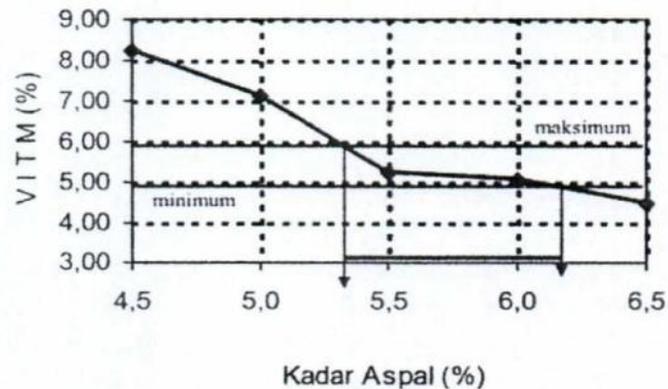
Gambar 6.2. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap VMA

Spesifikasi Depkimpraswil VMA minimum adalah sebesar 15% dari total agregat, ini menunjukkan hasil penelitian memenuhi syarat. Kadar aspal 4,5% sampai 5,5% dari berat agregat menunjukkan nilai VMA terus turun, hal ini disebabkan aspal menjadi pelumas yang memadatkan beton aspal campuran panas (butir-butir agregat saling mengisi dan mengikat). Kadar aspal lebih

dari 5,5% dan sampai 6,5% dari berat agregat menunjukkan nilai VMA terus naik, hal ini disebabkan rongga-rongga yang terisi aspal diantara butir-butir agregat sudah sedemikian rapat, sehingga dengan bertambahnya selimut aspal akan memperbesar rongga diantara butir-butir agregat.

### 3. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *Voids In The Mix* (VITM)

Kadar aspal menentukan besar atau kecilnya rongga udara dalam campuran. Kadar aspal yang besar akan menghasilkan nilai VITM yang besar dan bila kadar aspal kecil akan menghasilkan nilai VITM yang kecil pula. Kadar aspal yang besar menghasilkan lapisan film aspal yang tebal, menghasilkan beton aspal campuran panas yang fleksibilitas dan durabilitas tinggi dan mudah untuk dikerjakan, tetapi kemungkinan terjadi bleeding menjadi besar. Kadar aspal yang kecil menghasilkan lapisan film aspal yang tipis, menghasilkan beton aspal campuran panas yang kaku dan stabilitas tinggi, tetapi cepat terjadi retak. ketersediaan rongga berfungsi sebagai ruang gerak bagi partikel-partikel dalam beton aspal campuran panas.



Gambar 6.3 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap VITM

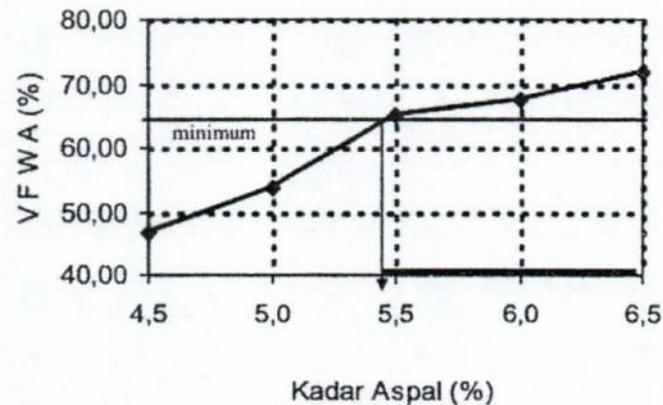
Berdasarkan spesifikasi Depkimpraswil VITM minimum adalah sebesar 4,9% dan maksimum 5,9% dari total agregat. Kadar aspal 4,5% sampai 5,5% dari berat agregat menunjukkan nilai VITM turun, hal ini disebabkan aspal menjadi pelumas yang memadatkan beton aspal campuran panas (butir-butir agregat saling mengisi dan mengikat). Kadar aspal lebih dari 5,5% dan sampai 6,5% menunjukkan nilai VITM makin turun, hal ini disebabkan rongga-rongga antara butir-butir agregat terus terisi aspal, sehingga rongga-rongga diantara butir-butir agregat menjadi sangat kecil. Kadar aspal 5,5% dan 5,75% dari berat agregat menghasilkan rongga 4,9% - 5,9%.

#### **4. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *Voids Filled with Asphalt* (VFWA)**

Banyaknya kadar aspal yang mengisi rongga-rongga antara butir-butir agregat pada aspal beton campuran panas ditunjukkan dari nilai VFWA. Semakin besar kadar aspal maka makin banyak mengisi rongga-rongga pada beton aspal campuran panas dan nilai VFWA tinggi. Banyak kadar aspal dalam beton aspal campuran panas berhubungan erat dengan durabilitas, karena lapisan film aspal makin besar dan sangat mungkin terjadi bleeding. Kadar aspal yang kecil menjadikan beton aspal campuran panas bersifat porous dan mudah teroksidasi. Besarnya nilai VFWA pada suatu campuran sangat ditentukan oleh proses pemadatan, temperatur, gradasi agregat, dan kadar aspal serta dibatasi oleh nilai VITM.

Spesifikasi Depkimpraswil VFWA minimum adalah sebesar 65%. Kadar aspal 4,5% sampai 6,5% dari berat agregat menunjukkan nilai VFWA terus naik mulai dari 46,70% sampai 71,90%. Kadar aspal 5,5% sampai 6,5% dari berat agregat menghasilkan nilai VFWA yang lebih besar dari 65%, kadar aspal 5,5%

menghasilkan VFWA 65,18%. Berdasarkan penelitian dan analisis data diperoleh nilai VFWA seperti pada gambar berikut.



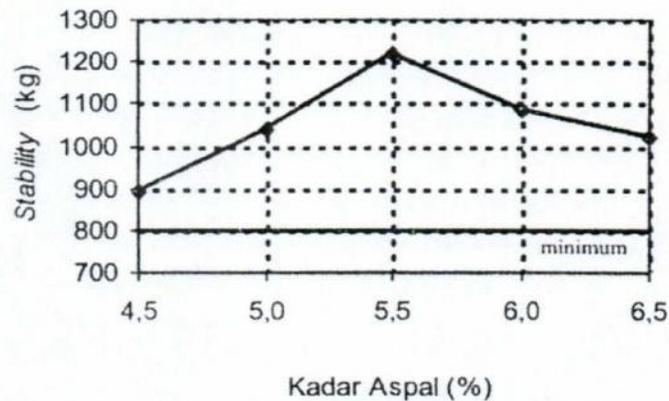
Gambar 6.4 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap VFWA

### 5. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas terjadi dari hasil gesekan antar butir, penguncian antar partikel, daya ikat yang kuat dari aspal dan kemampuan mempertahankan ikatannya (*kohesi*). Stabilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan menggunakan agregat dengan gradasi yang rapat, agregat permukaan yang kasar, aspal dengan penetrasi rendah, dan kadar aspal yang optimum untuk mengikat antara butir-butir agregat. Stabilitas sangat berkaitan dengan jumlah rongga pada agregat dan kadar aspal yang mengisi rongga pada beton aspal campuran panas. 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 tinggi, dibandingkan dengan

jalan yang hanya terdiri dari kendaraan penumpang saja.

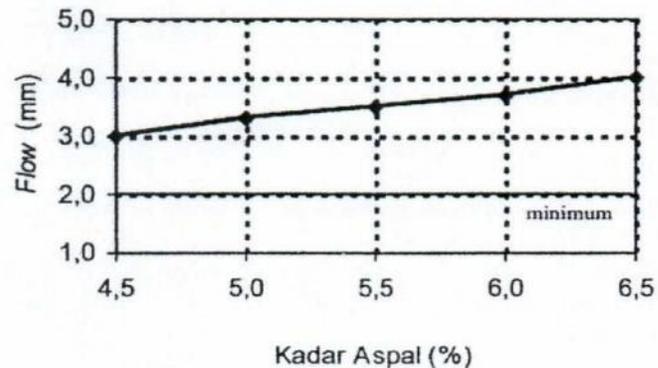
Nilai stabilitas spesifikasi Depkimpraswil minimum adalah sebesar 800 kg. Kadar aspal 4,5% sampai 5,5% dari berat agregat menunjukkan nilai stabilitas terus naik dan mencapai puncaknya pada kadar aspal 5,5%, hal ini disebabkan aspal menjadi pelumas yang menyelimuti butir-butir agregat secara merata yang menyebabkan bertambahnya sifat kohesi, sehingga bidang kontak antar agregat meningkat pada beton aspal campuran panas. Kadar aspal lebih dari 5,5% dan sampai 6,5% dari berat agregat menunjukkan nilai stabilitas terus turun, hal ini disebabkan film aspal menjadi sangat tebal sehingga fungsi aspal sebagai pelumas tidak terjadi melainkan menjadi pengisi rongga-rongga, repetisi beban lalu lintas menambah pemadatan lapisan perkerasan sehingga aspal akan keluar dari campuran (*bleeding*), membuat fungsi aspal sebagai perekat berubah menjadi pelicin yang akhirnya menurunkan stabilitas pada campuran. Nilai stabilitas hasil penelitian ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 6.5 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Stabilitas

## 6. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Kelelahan (*Flow*)

Besar dan kecilnya nilai kelelahan (*flow*) dari beton aspal campuran panas sangat ditentukan oleh kadar aspal. Semakin besar kadar aspal pada campuran maka nilai kelelahan akan makin besar, begitu juga sebaliknya. Kadar aspal yang besar membuat aspal menjadi pelicin bagi campuran. Hasil penelitian menunjukkan nilai *flow* seperti pada gambar berikut.



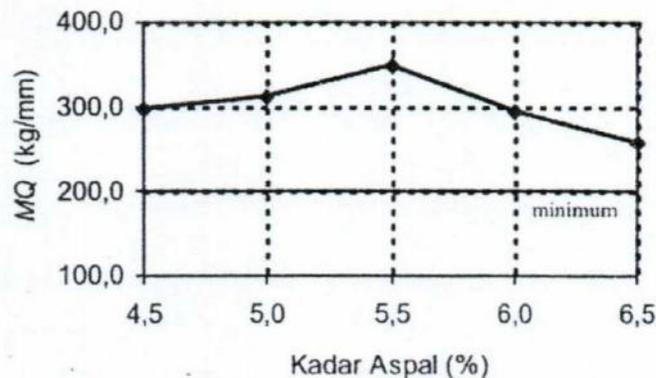
Gambar 6.6 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *Flow*

Nilai *flow* berdasarkan spesifikasi Depkimpraswil minimum adalah sebesar 2 mm. Kadar aspal 4,5% sampai dengan 6,5% dari berat agregat menunjukkan nilai *flow* terus naik dan mencapai puncaknya pada kadar aspal 6,5%, karena lapisan film aspal yang terbentuk akan menjadi lebih tebal dan fungsi aspal menjadi pelicin yang membuat campuran lebih kuat tidak cepat leleh, hal ini menaikkan nilai kelelahan.

## 7. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *Marshall Quotient (MQ)*

*Marshall Quotient* berupa hasil bagi dari stabilitas dengan nilai kelelahan (*flow*), yang dapat

dipakai sebagai pendekatan terhadap tingkat kekakuan beton aspal campuran panas. Beton aspal campuran panas yang memiliki stabilitas tinggi dan *flow* rendah menunjukkan sifat beton aspal campuran panas kaku dan getas (*brittle*), sebaliknya beton aspal campuran panas yang memiliki stabilitas rendah dan *flow* tinggi menunjukkan sifat beton aspal campuran panas cenderung plastis.



Gambar 6.7 Pengaruh kadar aspal terhadap *MQ*

Nilai *Marshall Quotient* berdasarkan spesifikasi Depkimpraswil minimum adalah sebesar 200 kg. Kadar aspal 4,5% sampai 5,5% dari berat agregat menunjukkan nilai *Marshall Quotient* terus naik dan mencapai puncaknya pada kadar aspal 5,5%, hal ini disebabkan nilai stabilitas terus naik secara signifikan dan nilai *flow* naik secara perlahan. Kadar aspal lebih dari 5,5% dan sampai 6,5% dari berat agregat menunjukkan nilai *Marshall Quotient* terus turun, hal ini disebabkan nilai stabilitas terus turun dan nilai *flow* terus naik.

### 8. Kadar aspal optimum (KAO)

Tingkat keberhasilan suatu aspal beton campuran panas (AC-WC) dipengaruhi oleh banyak

faktor, salah satunya adalah kadar aspal dalam campuran. Aspal yang terlalu sedikit mengakibatkan ikatan antara masing-masing agregat menjadi kecil (lemah), sedangkan bila terlalu banyak mengakibatkan terjadi *bleeding*, selain itu kekurangan dan kelebihan kadar aspal menyebabkan beberapa kerusakan aspal beton campuran panas (AC-WC) sehingga diperlukan kadar aspal yang optimum (KAO).

Penelitian aspal beton campuran panas (AC-WC) memakai kadar aspal 4,5% ; 5,0% ; 5,5% ; 6,0% dan 6,5% dari berat agregat. Kadar aspal yang memenuhi syarat (spesifikasi Depkimpraswil) adalah pada kadar aspal 5,5% dengan VMA 15,03%; VITM 5,24%; VFWA 65,18%; stabilitas 1220 kg; *flow* 3,5 mm; dan *Marshall Quotient* 349 kg/mm.

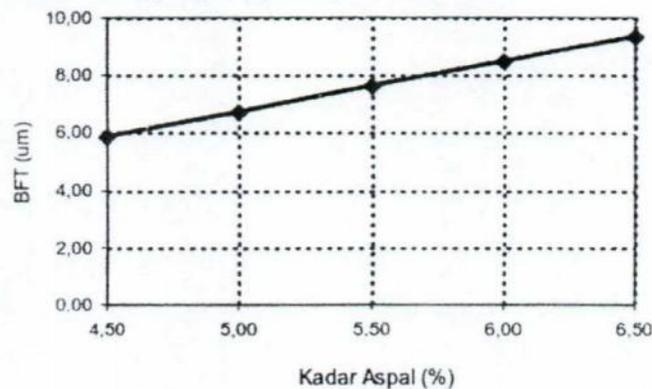
Kadar aspal 6,0% menghasilkan VMA 15,47%; VITM 5,07%; VFWA 67,36%; stabilitas 1083 kg; *flow* 3,7 mm; dan *Marshall Quotient* 295 kg/mm. Kadar aspal 4,5%; 5,0% dan 6,5% tidak memenuhi syarat (spesifikasi Depkimpraswil) karena pada kadar aspal 4,5% dengan hasil VMA 15,43%; VITM 8,23%; VFWA 46,70%; stabilitas 893 kg; *flow* 3,0 mm; dan *Marshall Quotient* 298 kg/mm, sedangkan pada kadar aspal 5,0% dengan hasil VMA 15,36%; VITM 7,09%; VFWA 53,84%; stabilitas 1036 kg; *flow* 3,3 mm; dan *Marshall Quotient* 311 kg/mm, dan kadar aspal 6,5% dengan hasil VMA 15,89%; VITM 4,50%; VFWA 71,90%; stabilitas 1023 kg; *flow* 4,0 mm; dan *Marshall Quotient* 256 kg/mm.

Berdasarkan parameter-parameter yang ditinjau pada gambar 6.8 dapat dilihat rentang nilai kadar aspal yang memenuhi syarat, dengan metode *Narrow range* yang didasarkan pada *Asphalt Institute MS-2* (1997) nilai kadar aspal untuk setiap parameter diplotkan dalam grafik. Dalam penelitian ini digunakan kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,5% dari berat agregat,

karena memiliki nilai stabilitas paling besar (1220 kg) yang merupakan salah satu karakteristik perkerasan beton aspal untuk dapat mendukung beban yang besar, memiliki rongga antara butiran agregat (VMA) mendekati batas minimum sebesar 15,03%, sehingga akan lebih tahan terhadap densifikasi akibat repetisi beban lalu lintas yang berulang-ulang, dan memiliki rongga dalam campuran (VITM) mendekati batas maksimum sebesar 5,24% yang bertujuan untuk menyediakan rongga yang cukup bila terjadi densifikasi akibat repetisi beban lalu lintas dan pemuaihan aspal akibat temperatur, sehingga tidak terjadi *flushing*, *bleeding*, dan kehilangan stabilitas.

### 9. Tebal Lapisan Film Aspal (*bitument film thickness*)

Durabilitas beton aspal sangat ditentukan oleh tebal lapisan film aspal semakin banyak kadar aspal semakin tebal lapisan film aspal, sehingga semakin awet campuran beton aspal. Nilai *Bitument film thickness* minimum untuk *Asphaltic Concrete (AC)* sebesar 5 micron (Whiteoak, 1990). Hasil penelitian menunjukkan nilai Tebal Lapisan Film Aspal (*bitument film thickness*) seperti pada gambar berikut.



Gambar 6.8 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *BFT*

Kadar aspal 4,5% sampai 6,5% dari berat agregat menunjukkan nilai *Bitument Film Thickness* terus naik, hal ini disebabkan kadar aspal yang digunakan terus bertambah. Kadar aspal yang makin besar menyebabkan lapisan aspal yang menyelimuti butir-butir agregat menjadi tebal (*Bitument Film Thickness*). Kadar aspal optimum (KAO) 5,5% menghasilkan *Bitument Film Thickness* 7,60 micron, ini menunjukkan pada kadar aspal optimum beton campuran panas aspal memiliki nilai VMA, VITM, VFWA, stabilitas, *flow* dan *Marshall Qoutient (MQ)* yang baik.

### 6.3 Uji Durabilitas (*Marshall immersion*)

Salah satu hal yang perlu mendapat perhatian serius dari para ahli perkerasan jalan raya adalah menghasilkan perkerasan yang memiliki durabilitas (*durability*) yang tinggi, selain kokoh, kuat, dan tidak mudah berubah bentuk serta ekonomis. Tingkat daya tahan perkerasan jalan raya di daerah beriklim tropis seperti Indonesia sangat dipengaruhi oleh kondisi alamnya, seperti tingginya curah hujan, temperatur yang dapat mencapai lebih dari 30°C, jalan-jalan yang berada di daerah pesisir (pengaruh pasang surut air laut), muka air tanah yang dangkal, dan lain sebagainya.

Pengaruh cuaca dan iklim dapat menyebabkan daya tahan suatu perkerasan jalan raya turun dengan cepat, terlebih lagi bagi perkerasan yang memiliki rongga-rongga udara yang banyak dan sedikit lapisan film aspal hal ini disebabkan semakin besar pori yang tersisa semakin tidak kedap air dan semakin banyak udara di dalam beton aspal, yang menyebabkan semakin mudahnya selimut aspal beroksidasi dengan udara dan menjadi getas, sehingga daya tahannya menurun.

Daya tahan perkerasan menurun ditandai dengan terendahnya perkerasan aspal oleh air, yang

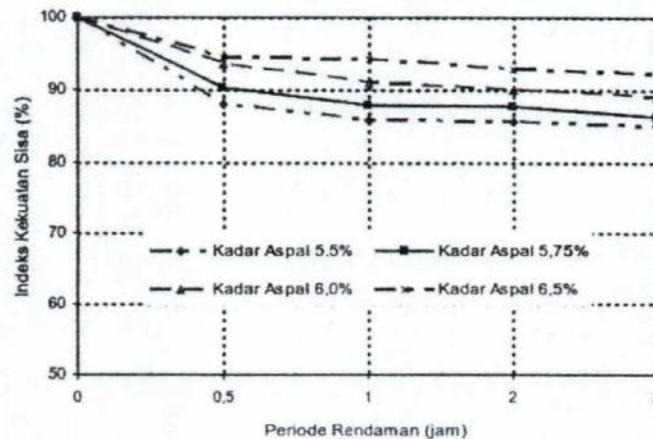
dapat menyebabkan pengelupasan lapisan aspal dari butir agregat akibat hilangnya daya lekat antara aspal dan permukaan agregat, dan terjadinya penghancuran agregat.

Kondisi iklim, cuaca dan alam tidak dapat dihindari oleh perkerasan jalan yang ada di wilayah Indonesia, sehingga untuk mendapatkan perkerasan yang lebih awet harus dilakukan dengan upaya meningkatkan kualitas campuran perkerasan dengan cara, menggunakan campuran perancangan dengan gradasi rapat atau agregat yang tahan uap lembab, maksimalkan ketebalan film aspal pada agregat, dan rongga udara lebih sedikit, atau mencari sumber-sumber material lain yang lebih tahan terhadap cuaca dan iklim. Penurunan daya tahan suatu perkerasan memang tidak dapat dihindari, tetapi penurunan itu haruslah dalam batas yang masih dapat dipertanggungjawabkan atau dalam batas yang masih wajar (sesuai spesifikasi teknis), oleh karena itu dalam pemilihan jenis campuran, komposisi dan material untuk perkerasan jalan harus memperhitungkan tingkat daya tahannya.

Penelitian "Pengaruh Rendaman Air Laut Terhadap Durabilitas Beton Aspal Campuran Panas" pada lapisan AC-WC menghasilkan indeks kekuatan sisa (IKS) berbeda-beda, berdasarkan kadar aspal yang digunakan. Hasil penelitian dengan kadar aspal 5,5%; 5,75%; 6,0%; dan 6,5% menghasilkan IKS seperti gambar 7.9.

Kadar aspal 5,50% menghasilkan nilai IKS 85,00%, kadar aspal 5,75% menghasilkan nilai IKS 86,09%, kadar aspal 6,0% menghasilkan nilai IKS 88,92%, dan kadar aspal 6,50% menghasilkan nilai IKS 92,18% berdasarkan kriteria Marshall. Semua nilai IKS tersebut diperoleh dari hasil rendaman benda uji selama 14 hari berturut-turut dengan temperatur

lingkungan, kemudian dilakukan pengujian stabilitas dengan terlebih dahulu merendam benda uji dalam bak yang berisi air laut dengan temperatur 60°C, menghasilkan nilai IKS masih pada batas yang disarankan. Nilai IKS menurut spesifikasi 2000 minimal 85% dan menurut *Asphalt Institute* minimal 75%.



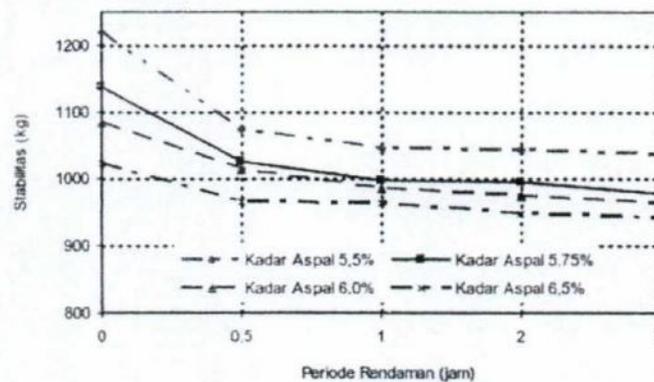
Gambar 6.9 Kurva Durabilitas dengan Kriteria Stabilitas Marshall

### 1. Pengaruh Rendaman Terhadap Stabilitas

Perkerasan yang direndam air dalam periode waktu tertentu akan mengalami penurunan stabilitas (*stabilitas Marshall*), semakin lama direndam air akan semakin besar penurunan stabilitas. Selain faktor waktu rendaman juga dipengaruhi oleh volumetrik campuran. Rongga-rongga yang banyak dan kadar aspal sedikit dalam campuran mempercepat proses oksidasi, yang mempercepat penurunan stabilitas.

Rendaman beton aspal campuran panas (AC-WC) dengan air laut dalam periode waktu ½, 1, 2, dan 3 jam setiap harinya selama 14 hari berturut-turut memperlihatkan penurunan nilai stabilitas, periode

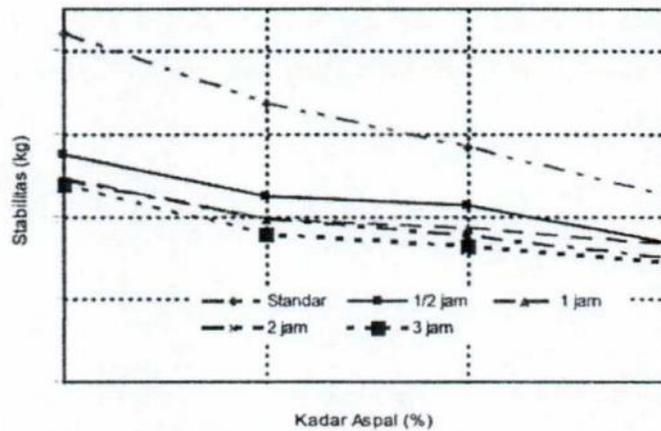
rendaman sampai 3 jam terjadi penurunan stabilitas yang paling besar. beton aspal Campuran panas (AC-WC) dengan kadar aspal 5,5% (KAO) dengan rendaman 3 jam menunjukkan nilai stabilitas 1037 kg atau mengalami penurunan stabilitas 85%, pada kadar aspal 5,75% menunjukkan nilai stabilitas 978 kg atau mengalami penurunan stabilitas 86,09%, sedangkan pada kadar aspal 6,0% menunjukkan nilai stabilitas 963 kg atau mengalami penurunan stabilitas 88,92%, dan pada kadar aspal 6,5% menunjukkan nilai stabilitas 943 kg atau mengalami penurunan stabilitas 92,18%. Persentase penurunan nilai stabilitas terbesar terjadi pada kadar aspal 5,5% (KAO), karena terjadi penurunan stabilitas yang cukup besar setelah benda uji direndam dengan air laut selama 3 jam selama 14 hari dibandingkan sebelum direndam air laut. Kadar aspal 6,5% penurunan nilai stabilitas tidak sebesar nilai stabilitas sebelum benda uji direndam air laut, seperti pada gambar berikut.



Gambar 6.10 Penurunan Stabilitas Berdasarkan Waktu Rendaman

Penurunan nilai stabilitas cukup besar pada kadar aspal 5,5% setelah benda uji direndam selama ½

jam, kemudian terus turun dengan kecil sampai pada rendaman 3 jam, begitu juga pada kadar aspal 5,75%, 6,0%, dan 6,5%. Gambar 6.11 diperlihatkan perbandingan nilai stabilitas benda uji standar yang terus turun secara signifikan, setelah mencapai puncaknya pada kadar aspal 5,5% (KAO). Nilai stabilitas benda uji yang direndam air laut turun cukup besar setelah direndam selama ½ jam dan terus turun secara perlahan sampai rendaman 3 jam, seperti pada gambar berikut.



Gambar 6.11 Penurunan Stabilitas Berdasarkan Kadar Aspal

Penurunan nilai stabilitas beton aspal campuran panas (AC-WC) dapat disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya :

- a. Infiltrasi air laut menyebabkan terjadinya reaksi antara oksigen yang terkandung dalam air laut dengan aspal (oksidasi), dalam proses oksidasi ini akan terbentuk lapisan tipis pada bagian atasnya dan lapisan ini akan melindungi aspal di bawahnya, sehingga oksidasi hanya terjadi pada lapisan paling atas saja. Temperatur yang tinggi menyebabkan

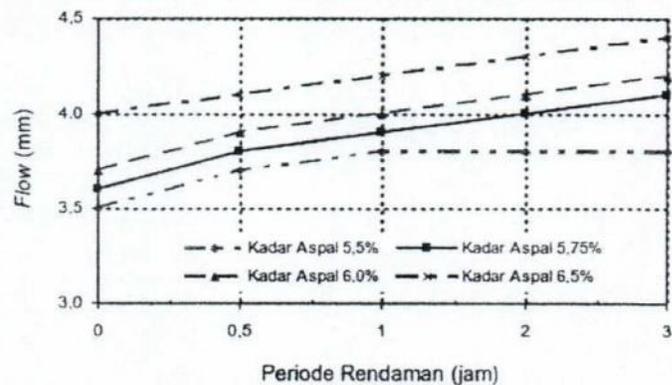
- lapisan tipis ini menjadi pecah yang memunculkan aspal cair lagi dan terjadi oksidasi lagi, demikian seterusnya. Lapisan tipis yang terbentuk (hasil oksidasi) timbul komponen baru yang dapat larut dalam air, bagian yang larut ini dapat terbawa oleh air, sehingga mempengaruhi sifat kohesi aspal dan menyebabkan lapisan film aspal menjadi tipis yang mengakibatkan penurunan nilai stabilitas campuran.
- b. Infiltrasi air laut kedalam campuran (oksidasi) menyebabkan lapisan film aspal menjadi tipis, sehingga air laut dapat masuk kedalam butir-butir agregat. Air laut yang mengandung komponen natrium, sulfida, magnesium, dan lain-lain menyebabkan terjadinya pelapukan agregat (*soundness*).
  - c. Beberapa unsur-unsur atau komponen-komponen air laut memiliki kemampuan mengoksidasi hidrokarbon yang merupakan rantai pembangun molekul aspal, sehingga dapat menurunkan kemampuan daya ikat aspal terhadap agregat.

## **2. Pengaruh Rendaman Terhadap Kelelehan (*flow*)**

Rendaman air laut terhadap beton aspal campuran panas (AC-WC) menyebabkan naiknya nilai kelelehan (*flow*), yang disebabkan oleh berkurangnya kemampuan aspal untuk mempertahankan daya ikatnya terhadap agregat, sehingga campuran menjadi lebih plastis.

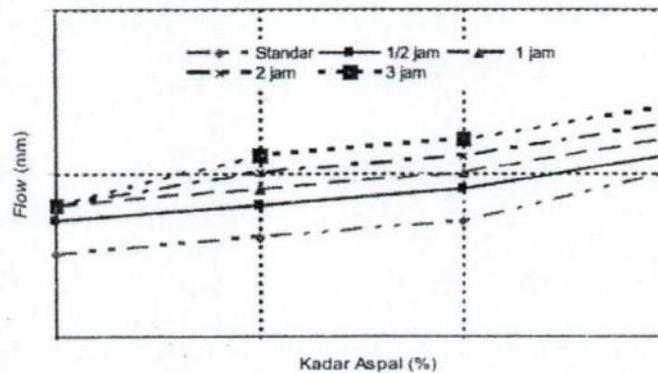
Hasil dari penelitian ini terhadap benda uji beton aspal campuran panas (AC-WC) yang direndam dalam air laut selama 14 hari berturut-turut dengan periode waktu  $\frac{1}{2}$ , 1, 2, dan 3 jam setiap harinya memperlihatkan nilai *flow* yang terus besar, dengan semakin lama direndam dari setiap variasi kadar aspal. Beton aspal campuran panas (AC-WC) dengan kadar aspal 5,5% (KAO) memiliki *flow* 3,5 mm sebelum

direndam air laut, setelah direndam  $\frac{1}{2}$  jam *flow* menjadi 3,7 mm, setelah direndam 1 jam *flow* menjadi 3,8 mm, dan setelah direndam selama 2 jam dan 3 jam nilai *flow* tetap 3,8 mm. Kadar aspal 5,75% memiliki *flow* 3,6 mm sebelum direndam air laut, setelah direndam  $\frac{1}{2}$  jam *flow* menjadi 3,8 mm, setelah direndam 1 jam *flow* menjadi 3,9 mm, dan setelah direndam selama 2 jam *flow* menjadi 4,0 mm, dan setelah direndam selama 3 jam nilai *flow* 4,1 mm. Kadar aspal 6,0% memiliki *flow* 3,7 mm sebelum direndam air laut, setelah direndam  $\frac{1}{2}$  jam *flow* menjadi 3,9 mm, setelah direndam 1 jam *flow* menjadi 4,0 mm, dan setelah direndam selama 2 jam *flow* menjadi 4,1 mm, dan setelah direndam selama 3 jam nilai *flow* 4,2 mm. Kadar aspal 6,5% memiliki *flow* 4,0 mm sebelum direndam air laut, setelah direndam  $\frac{1}{2}$  jam *flow* menjadi 4,1 mm, setelah direndam 1 jam *flow* menjadi 4,2 mm, dan setelah direndam selama 2 jam *flow* menjadi 4,3 mm, dan setelah direndam selama 3 jam nilai *flow* 4,4 mm, seperti pada gambar berikut.



Gambar 6.12 Pengaruh Rendaman Terhadap *Flow* Berdasarkan Waktu Rendaman

Nilai kelelahan benda uji dengan kadar aspal 5,75% lebih besar dari nilai kelelahan benda uji dengan kadar aspal 5,5% dan begitu seterusnya untuk setiap periode waktu rendaman sampai pada kadar aspal 6,5%, seperti gambar 6.12 Gambar berikut menunjukkan perbandingan nilai *flow* benda uji yang terus naik, semakin lama perendaman dan semakin bertambah kadar aspal semakin besar nilai *flow*.



Gambar 6.13 Pengaruh Rendaman Terhadap *Flow* Berdasarkan Kadar Aspal

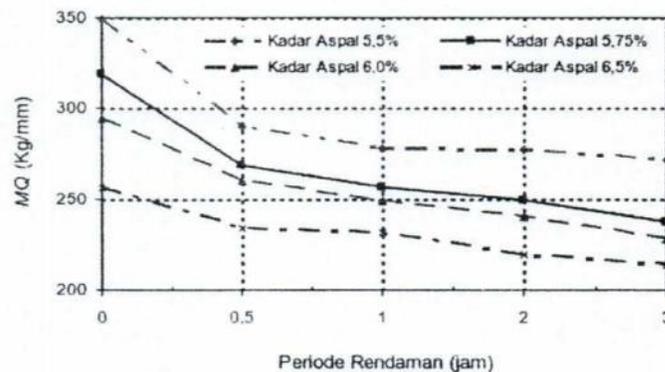
Nilai *flow* benda uji yang direndam dengan air laut terus naik dengan semakin lama periode waktu rendamannya. Waktu rendaman mempengaruhi besarnya nilai kelelahan benda uji, nilai kelelahan benda uji dengan waktu rendam 1 jam lebih besar dari waktu rendam 1/2 jam dan waktu rendam 3 jam lebih besar dari waktu rendam 2 jam dan begitu seterusnya, seperti pada gambar 6.13.

### 3. Pengaruh Rendaman Terhadap *Marshall Quotient*

Rendaman air laut terhadap beton aspal campuran panas (AC-WC) menyebabkan turunya

stabilitas dan naiknya nilai kelelahan (*flow*), hal ini tentunya menyebabkan penurunan nilai *Marshall Quotient (MQ)* yang merupakan nilai bagi antara stabilitas dengan *flow*.

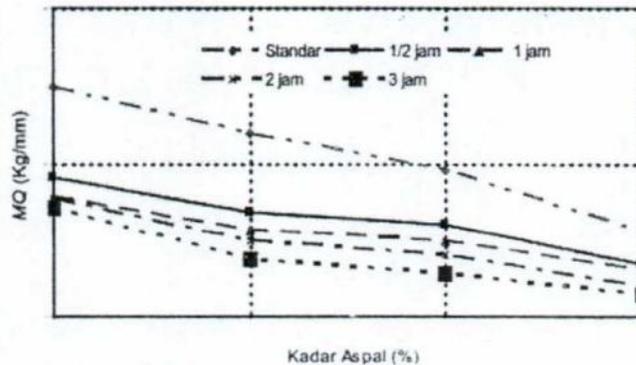
Beton aspal campuran panas (AC-WC) sebelum direndam dengan air laut pada kadar aspal 5,5% (KAO) menghasilkan nilai *MQ* sebesar 349 kg/mm, kadar aspal 5,75% menghasilkan nilai *MQ* sebesar 319 kg/mm, kadar aspal 6,0% menghasilkan nilai *MQ* sebesar 295 kg/mm, dan pada kadar aspal 6,5% menghasilkan nilai *MQ* sebesar 256 kg/mm. Setelah benda uji direndam dengan air laut nilai *MQ* turun secara signifikan. Nilai *MQ* setelah direndam dengan air laut selama 14 hari berturut-turut dengan periode waktu 3 jam setiap harinya menghasilkan nilai *MQ* sebesar 271 kg/mm atau turun sebesar 77,65 % dengan kadar aspal 5,5%, pada kadar aspal 5,75% menghasilkan nilai *MQ* sebesar 237 kg/mm atau turun sebesar 74,30%, pada kadar aspal 6,0% menghasilkan nilai *MQ* sebesar 228 kg/mm atau turun sebesar 77,29%, dan pada kadar aspal 6,5% menghasilkan nilai *MQ* sebesar 214 kg atau turun sebesar 83,59%, seperti gambar berikut.



Gambar 6.14 Pengaruh Rendaman Terhadap *MQ* Berdasarkan Waktu Rendam

Berdasarkan gambar 6.14 terlihat bahwa penurunan nilai  $MQ$  cukup besar setelah benda uji direndam selama  $\frac{1}{2}$  jam, kemudian terus turun dengan sangat kecil sampai pada rendaman 3 jam, hal ini disebabkan pada periode rendaman  $\frac{1}{2}$  jam stabilitas turun sangat signifikan dan nilai  $flow$  naik. Setelah melewati periode rendaman  $\frac{1}{2}$  jam sampai 3 jam penurunan stabilitas secara perlahan.

Gambar berikut memperlihatkan perbandingan nilai  $MQ$  benda uji standar yang terus turun secara signifikan dibandingkan benda uji yang direndam dengan air laut.



Gambar 6.15 Pengaruh Rendaman Terhadap  $MQ$  Berdasarkan Kadar Aspal

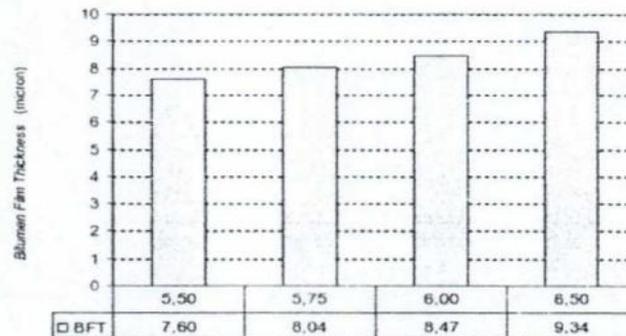
Nilai  $MQ$  benda uji yang direndam air laut turun setelah direndam selama  $\frac{1}{2}$  jam dan terus turun sampai rendaman 3 jam, seperti gambar 6.15. Penurunan nilai  $MQ$  lebih landai pada benda uji setelah direndam air laut, dibandingkan pada benda uji standar. Hal ini disebabkan benda uji terus direndam oleh air laut sampai 14 hari berturut-turut. Rendaman air laut tidak membuat nilai  $MQ$  turun secara signifikan, melainkan turun secara perlahan.

#### 4. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Tebal Lapisan Film Aspal

Kadar aspal pada campuran perkerasan jalan raya merupakan salah satu faktor yang menunjang keawetan perkerasan. Penambahan kadar aspal meningkatkan *bitumen film thickness (BFT)* dalam campuran sehingga dapat mengurangi rongga-rongga yang ada dalam campuran dan mencegah masuknya air dan udara dalam perkerasan.

Nilai dari *BFT* menjadi indikator banyaknya kadar aspal yang menyelimuti butir-butir agregat, untuk menjaga campuran tetap awet nilai dari *BFT* harus lebih besar dari nilai minimal yang disyaratkan.

Penelitian pada beton aspal campuran panas (AC-WC) pada kadar aspal 5,5% (KAO) menghasilkan nilai *BFT* sebesar 7,60  $\mu\text{m}$ , penambahan kadar aspal 0,25% menghasilkan nilai *BFT* sebesar 8,04  $\mu\text{m}$  atau bertambah 5,79%, sedangkan penambahan kadar aspal 0,5% menghasilkan nilai *BFT* sebesar 8,47  $\mu\text{m}$  atau bertambah 11,45%, dan penambahan kadar aspal 1% menghasilkan nilai *BFT* sebesar 9,34  $\mu\text{m}$  atau bertambah 22,89%, seperti pada gambar berikut.



Gambar 7.16 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Tebal Lapisan Film Aspal

## 5. Pengaruh Tebal Lapisan Film Aspal Terhadap Potensi Durabilitas

Potensi durabilitas sangat ditentukan oleh tebal lapisan film aspal (*BFT*), semakin banyak kadar aspal semakin banyak aspal yang menyelimuti butir-butir agregat. Lapisan film aspal akan menyelimuti butir-butir agregat, mengisi rongga-rongga dalam campuran, menjadi pelumas, dan sebagai pengikat antar agregat yang dapat memperkecil oksidasi.

Penambahan kadar aspal juga tidak boleh terlalu banyak, karena kadar aspal yang terlalu banyak menyebabkan nilai VFWA sangat tinggi, sehingga beton aspal campuran panas (AC-WC) menjadi sangat plastis, menurunkan nilai stabilitas, dan terjadi *bleeding*. Penggunaan kadar aspal adalah yang efektif adalah pada kondisi optimum (KAO), karena menghasilkan nilai VMA, VITM, VFWA, stabilitas, dan *flow* yang maksimal. Penggunaan kadar aspal maksimal yang disarankan untuk kemudahan pekerjaan adalah 1% dari KAO.

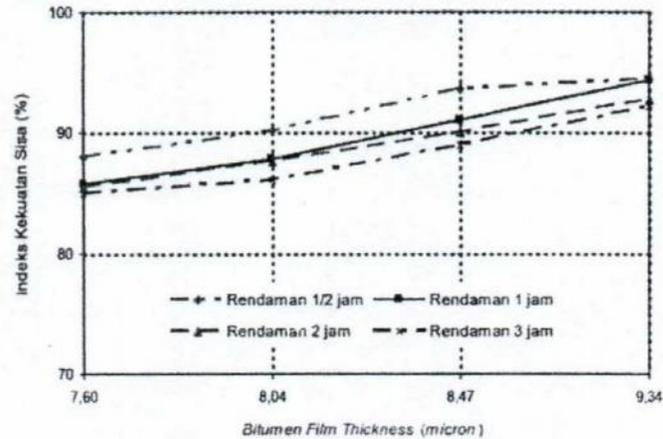
Hasil penelitian pada beton aspal campuran panas (AC-WC) dengan *BFT* 7,60  $\mu\text{m}$ , 8,04  $\mu\text{m}$ , 8,47  $\mu\text{m}$ , dan 9,34  $\mu\text{m}$  dengan rendaman air laut periode waktu 3 jam selama 14 hari berturut-turut menghasilkan IKS, seperti pada tabel berikut.

Tabel 6.1 Pengaruh *BFT* Terhadap Potensi Durabilitas

No.	Periode Rendaman (jam)	Indeks Kekuatan Sisa (IKS)			
		<i>Bitumen Film Thickness</i> ( $\mu\text{m}$ )			
		7,60	8,04	8,47	9,34
1	1/2	88,0	90,1	93,5	94,4
2	1	85,7	87,7	91,0	94,2
3	2	85,5	87,6	90,0	92,8
4	3	85,0	86,1	88,9	92,2

Tabel 6.1. menunjukkan bahwa dengan semakin besarnya nilai *BFT*, indeks kekuatan sisa (IKS) sebagai

indikator untuk mengukur tingkat durabilitas beton aspal campuran panas (AC-WC) semakin naik, sedangkan semakin lama direndam dengan air nilai IKS akan turun. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai IKS beton aspal campuran panas (AC-WC) masih dalam batas yang disyaratkan. Gambar berikut menunjukkan pengaruh *BFT* terhadap potensi durabilitas.



Gambar 6.17 Pengaruh *BFT* Terhadap Potensi Durabilitas

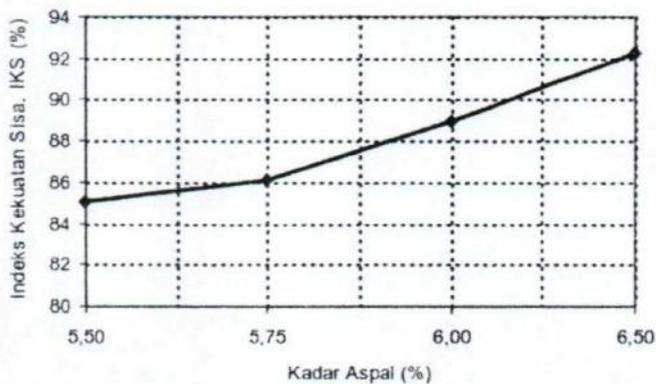
### 5.a Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Indeks kekuatan sisa (IKS) pada penelitian ini diukur melalui pengujian terhadap sifat mekanik benda uji (stabilitas dan *flow*) dengan kriteria Marshall. Benda uji standar menjadi patokan nilai keawetan campuran, sedangkan durabilitas campuran dilihat setelah mengalami rendaman dengan air laut dalam periode waktu 1/2, 1, 2, dan 3 jam selama 14 hari berturut-turut.

IKS diperoleh dengan membandingkan nilai stabilitas setiap benda uji yang telah direndam dengan

air laut berdasarkan periode waktunya masing-masing, dengan benda uji standar berdasarkan kadar aspalnya, yang kemudian diperhitungkan dalam persentase kehilangan stabilitasnya.

IKS setelah direndam air laut selama 3 jam selama 14 hari berturut-turut pada kadar aspal 5,5% menghasilkan nilai stabilitas 1037 kg sedangkan bila tidak direndam dengan air laut mempunyai stabilitas 1220 kg, sehingga menghasilkan nilai IKS sebesar 85,0%. Kadar aspal 5,75% menghasilkan nilai stabilitas 978 kg sedangkan bila tidak direndam dengan air laut mempunyai stabilitas 1136 kg, sehingga menghasilkan nilai IKS sebesar 86,1%. Kadar aspal 6,0% menghasilkan nilai stabilitas 963 kg sedangkan bila tidak direndam dengan air laut mempunyai stabilitas 1083 kg, sehingga menghasilkan nilai IKS sebesar 88,9%. Kadar aspal 6,5% menghasilkan nilai stabilitas 943 kg sedangkan bila tidak direndam dengan air laut mempunyai stabilitas 1023 kg, sehingga menghasilkan nilai IKS sebesar 92,2%, seperti gambar berikut.



Gambar 6.18. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap IKS

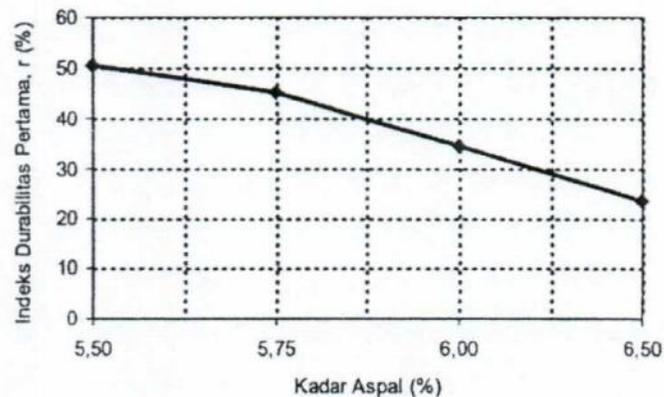
IKS tersebut memperlihatkan bahwa semakin banyak kadar aspal menyebabkan lapisan film aspal

*BFT* makin tebal, sehingga air dan udara tidak mudah masuk kedalam benda uji beton aspal campuran panas (AC-WC) dan memperkecil oksidasi.

### 5.b Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks durabilitas pertama (IDP) merupakan jumlah kemiringan garis secara berurutan dari kurva durabilitas, IDP menjelaskan penurunan stabilitas pada campuran panas aspal. Penurunan atau kemiringan garis-garis dari kurva durabilitas sangat ditentukan oleh kadar aspal pada panas beton campuran panas. Penambahan kadar aspal dapat memperkecil tingkat durabilitas.

IDP terhadap benda uji setelah direndam air laut dengan periode waktu 3 jam selama 14 hari berturut-turut pada kadar aspal 5,5% menghasilkan nilai IDP sebesar 50,3%, kadar aspal 5,75% menghasilkan nilai IDP sebesar 45,0%, kadar aspal 6,0% menghasilkan nilai IDP sebesar 34,5%, dan kadar aspal 6,5% menghasilkan nilai IDP sebesar 23,3%, seperti pada gambar berikut.



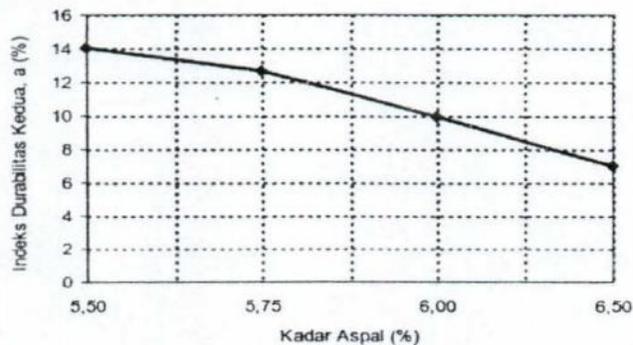
Gambar 6.19 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap IDP

Hasil IDP tersebut memperlihatkan bahwa penambahan kadar aspal sampai 1% dari kadar aspal optimum (KAO) dapat memperkecil tingkat penurunan stabilitas benda uji sampai 27%, yaitu dari 50,3% menjadi 23,3%.

### 5.c Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Indeks Durabilitas Kedua

Indeks Durabilitas Kedua (IDK) merupakan kehilangan kekuatan (a) dan kekuatan tertahan (sa) yang menggambarkan sifat durabilitas suatu campuran panas beton aspal. Penambahan kadar aspal dapat menurunkan kehilangan kekuatan dan sebaliknya kekuatan tertahan meningkat.

Indeks Durabilitas Kedua (IDK) terhadap benda uji setelah direndam air laut dengan periode waktu 3 jam selama 14 hari berturut-turut pada kadar aspal 5,5% menghasilkan nilai kehilangan kekuatan (a) sebesar 14,0% kadar aspal 5,75% menghasilkan nilai kehilangan kekuatan (a) sebesar 12,7% kadar aspal 6,0% menghasilkan nilai kehilangan kekuatan (a) sebesar 9,9% dan kadar aspal 6,5% menghasilkan nilai kehilangan kekuatan (a) sebesar 7,0% seperti pada gambar berikut.



Gambar 6.20 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap IDK

IDK tersebut memperlihatkan bahwa penambahan kadar aspal sampai 1% dari kadar aspal optimum (KAO) dapat menurunkan kehilangan kekuatan (a) sampai 7% yaitu dari 14,0% menjadi 7,0%.

#### **6.4 Tinjauan Terhadap Hasil Penelitian Sebelumnya**

Tingkat durabilitas suatu campuran panas beton aspal akibat dari rendaman air sangat bervariasi, tergantung pada jenis air dan waktu rendaman. Durabilitas campuran panas aspal akibat rendaman air murni, air hujan, air sungai berlumpur dan air laut dengan periode waktu rendaman tertentu menghasilkan tingkat durabilitas yang berbeda pula.

Potensi durabilitas beton aspal campuran panas (AC-WC) akibat rendaman air laut, dapat dilihat dengan membandingkan hasil penelitian ini dengan penelitian sebelumnya. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Rustomo (2004) dan Efendi, H. (2004) akan dibandingkan dengan penelitian ini untuk melihat tingkat durabilitas beton aspal campuran panas (AC-WC). Perbandingan penelitian ini dengan 2 (dua) penelitian sebelumnya, karena adanya persamaan sebagai berikut :

1. Menggunakan beton aspal campuran panas (AC-WC) dengan spesifikasi Depkimpraswil;
2. Gradasi agregat dan persentase kadar aspal yang relatif sama;
3. Menggunakan aspal hasil produksi Pertamina AC. 60/70;
4. Agregat berasal dari Clereng;
5. Menggunakan *Filler* batu pecah yang dari Clereng.

Penelitian ini dengan penelitian sebelumnya terdapat perbedaan periode waktu rendaman sehingga agat menyulitkan untuk dibandingkan secara langsung,

untuk itu dilakukan perbandingan nilai IKS berdasarkan total waktu rendaman benda uji.

Tabel 6.2 Hasil Penelitian dan Penelitian Sebelumnya

No	Parameter	Hasil-hasil Penelitian			
		Rustomo (2004)	Efendi (2004)	Penelitian (2005)	
1	Media rendaman	Air hujan	Air sungai berlumpur	Air laut	Air murni
2	KAO (%)	5,5	5,5	5,5	5,5
3	Marshall stabilitas awal (kg)	1289	1289	1220	1220
4	Marshall stabilitas akhir (kg)	983	961	1045	1016
5	Indeks kekuatan sisa (%)	76,3	74,6	85,5	83,3
6	Indeks durabilitas pertama (r, %)	36,3	31,1	50,3	16,7
7	Indeks durabilitas pertama (R, kg)	468	401	614	204
8	Indeks durabilitas kedua (a, %)	32,6	29,1	14,0	8,36
9	Ekivalen kehilangan kekuatan (A, kg)	420	375,6	171,3	102,0
10	Kekuatan sisa (sa, %)	67,4	70,9	86,0	91,64
11	Kekuatan sisa (Sa, kg)	869,1	913,5	1048,7	1118,0
12	Periode rendaman (jam)	24	24	28	24
13	Temperatur Rendaman (°C)	60	60	25	60

Berdasarkan tabel-tabel diatas terlihat nilai indeks kekuatan sisa (IKS) setelah direndam selama 24 jam (1 hari). Nilai IKS setelah direndam air laut adalah 85,5%, setelah direndam air hujan 76,3%, dan setelah direndam air sungai berlumpur 74,6%. Nilai IKS hasil rendaman air laut diperoleh setelah merendam air laut selama 14 hari berturut-turut dengan dengan periode

waktu ½, 1, 2, dan 3 jam setiap harinya, atau dengan kata lain tidak direndam secara terus menerus selama 24 jam, kemudian baru dimasukkan kedalam *waterbath* yang diisi air laut dengan temperatur 60°C. Hal inilah yang menyebabkan nilai IKS beton aspal campuran panas (AC-WC) masih cukup tinggi.

### 6.5 Perbandingan Rendaman Air Murni dengan Air laut

Selain dibandingkan dengan air hujan dan air sungai yang berlumpur, penelitian ini juga membandingkan tingkat durabilitas beton aspal campuran panas (AC-WC) dengan air murni. Benda uji yang sama direndam selama 24 jam dengan air murni dalam *waterbath* dengan temperatur 60°C, dengan hasil seperti diperlihatkan pada tabel berikut.

Tabel 6.3 IKS Rendaman Air Murni

No.	Kadar Aspal (%)	Marshall Stabilitas Standar (kg)	Marshall Stabilitas (kg)	Indeks Kekuatan Sisa, IKS (%)
1	5,50	1220	1016	83,3
2	5,75	1136	960	84,5
3	6,00	1083	922	85,1
4	6,50	1023	879	85,9

IKS setelah rendaman 24 jam

Tabel 6.4 IKS Rendaman Air Laut

No.	Kadar Aspal (%)	Marshall Stabilitas Standar (kg)	Marshall Stabilitas (kg)	Indeks Kekuatan Sisa, IKS (%)
1	5,50	1220	1043	85,5
2	5,75	1136	995	87,6
3	6,00	1083	975	90,0
4	6,50	1023	949	92,8

IKS setelah rendaman 28 jam

Hasil penelitian menunjukkan bahwa benda uji yang direndam dengan air murni selama 24 jam tanpa henti memiliki tingkat durabilitas yang lebih rendah dibandingkan dengan tingkat durabilitas beton aspal campuran panas (AC-WC) yang direndam dengan air laut periode waktu 2 jam setiap harinya selama 14 hari berturut-turut dengan temperatur lingkungan.

Tingkat durabilitas yang ditandai dengan nilai Indeks kekuatan sisa (IKS) pada kadar aspal 5,5% (KAO) setelah direndam air murni adalah 83,28% dan setelah direndam air laut adalah 85,49%. Hal ini disebabkan temperatur rendaman dengan air murni lebih besar (60°C), sehingga kekuatan benda uji lebih cepat turun dibandingkan dengan benda uji yang direndam oleh air laut dengan periode waktu 2 jam selama 14 hari berturut-turut dengan temperatur  $\pm 25^{\circ}\text{C}$ .

## 6.6 Rangkuman Pembahasan

Pembahasan dari hasil penelitian "Durabilitas Beton Aspal (AC-WC) Akibat Rendaman Air Laut" dilakukan mulai dari pemeriksaan kadar aspal optimum (KAO) sampai dengan ringkasan potensi durabilitas. Hasil penelitian dirangkum seperti pada tabel 6.5 meliputi pemeriksaan kadar aspal optimum, Marshall standar, *Marshall immersion* (24 jam), *immersion* (dengan air laut) indeks kekuatan sisa, indeks durabilitas pertama dan indeks durabilitas kedua. Rangkuman hasil penelitian diharapkan memudahkan untuk membaca hasil penelitian. Penelitian diawali dengan memeriksa bahan-bahan yang akan dipakai sesuai dengan syarat dan spesifikasi teknis, yang dilanjutkan dengan penentuan gradasi agregat, dan pemeriksaan kadar aspal untuk memperoleh kadar aspal optimum.

Tabel 6.5a Rangkumam Hasil Penelitian

Pemeriksaan Kadar Aspal Optimum (KAO)							
Kadar Aspal (%)	Density (gr/cm <sup>3</sup> )	VMA (%)	VITM (%)	FVWA (%)	Stability (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
4,5	2,296	15,43	8,23	46,70	893	3,0	298
5,0	2,309	15,36	7,09	53,84	1036	3,3	311
5,5	2,329	15,03	5,24	65,18	1220	3,5	349
6,0	2,328	15,47	5,07	67,36	1083	3,7	295
6,5	2,327	15,89	4,50	71,90	1023	4,0	256
Pemeriksaan Marshall Standar							
5,50	2,329	15,03	5,24	65,18	1220	3,5	349
5,75	2,330	15,21	5,30	65,15	1136	3,6	319
6,00	2,328	15,47	5,07	67,36	1083	3,7	295
6,50	2,327	15,89	4,50	71,90	1023	4,0	256
Pemeriksaan Marshall Immersion (24 jam)							
5,50	2,329	15,03	5,24	65,19	1016	4,0	253
5,75	2,330	15,18	5,27	65,31	960	4,1	235
6,00	2,329	15,42	5,01	67,54	922	4,2	222
6,50	2,327	15,89	4,51	71,64	879	4,3	206

Tabel 6.5b Rangkumam Hasil Penelitian

Pemeriksaan Immersion dengan Air Laut						
Periode Rendaman (jam)	Kadar Aspal 5,5%			Kadar Aspal 5,75%		
	Stab. (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	Stab. (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
½	1074	3,7	290	1024	3,8	268
1	1045	3,8	278	996	3,9	256
2	1043	3,8	277	995	4,0	249
3	1037	3,8	271	978	4,1	237
Periode Rendaman (jam)	Kadar Aspal 6,0%			Kadar Aspal 6,5%		
	Stab. (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	Stab. (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
½	1013	3,9	260	966	4,1	234
1	985	4,0	249	964	4,2	231
2	975	4,1	240	949	4,3	219
3	963	4,2	228	943	4,4	214

Tabel 6.5c Rangkumam Hasil Penelitian

Pemeriksaan Indek Kekuatan dengan air laut				
Kadar aspal (%)	5,5	5,75	6,0	6,5
Indeks kekuatan sisa, IKS (%)	85,0	86,1	88,9	92,2
Indeks durabilitas pertama, r (%)	50,3	45,0	34,5	23,3
Indeks durabilitas kedua, a (%)	14,0	12,7	9,9	7,0
Indeks durabilitas kedua, sa (%)	86,0	87,4	90,1	93,0

Penelitian yang dilakukan terhadap beton aspal campuran panas (AC-WC) menghasilkan kadar aspal yang masuk dalam spesifikasi Depkimpraswil (2002) adalah kadar aspal 5,5% dan 6,0%, serta penetapan kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,5%, karena memiliki stabilitas yang lebih besar, VMA terkecil, dan VITM terbesar dalam batas yang disyaratkan.

Benda uji beton aspal campuran panas (AC-WC) bila direndam dengan air akan turun nilai stabilitasnya. Penurunan stabilitas menjadi indikator potensi durabilitas beton aspal campuran panas, benda uji beton aspal campuran panas (AC-WC) dengan kadar aspal optimum 5,5% yang direndam dengan air murni selama 24 jam dengan temperatur 60°C menghasilkan IKS sebesar 83,3%. Benda uji yang direndam dengan air laut selama 28 jam, perharinya 2 jam selama 14 hari berturut-turut dengan temperatur lingkungan menghasilkan IKS sebesar 85,5%.

Rendaman benda uji dengan air laut pada kadar aspal 5,5% beton aspal campuran panas (AC-WC) dengan periode waktu ½, 1, 2, dan 3 jam selama 14 hari berturut-turut dengan temperatur lingkungan, menurunkan stabilitas. Penurunan stabilitas makin besar seiring makin lama benda uji direndam dengan air laut. Stabilitas benda uji turun dari 88,0%, 85,7%, 85,5%, sampai 85,0%. Selain melihat stabilitas benda uji yang turun, durabilitas beton aspal campuran panas (AC-WC) juga dapat diindikasikan dengan indeks

durabilitas pertama (r) yang mencapai 50,3% dan indeks durabilitas kedua (a) mencapai 14,0%.

Penambahan kadar aspal sampai 1% dari kadar aspal optimum meningkatkan tebal lapisan film aspal yang menyelimuti butir-butir agregat, sehingga menurunkan nilai stabilitas dan durabilitas beton aspal campuran panas (AC-WC). Hal ini ditunjukkan dari nilai IKS aspal beton campuran panas (AC-WC) pada kadar aspal 6,5% (penambahan kadar aspal 1% dari KAO). Rendaman dengan air laut selama ½, 1, 2, dan 3 jam berturut turut menghasilkan nilai IKS sebesar 94,4%; 94,2%; 92,8%; dan 92,2%. Sedangkan nilai indeks durabilitas pertama (r) yang mencapai 23,3% dan indeks durabilitas kedua (a) mencapai 7,0%. Penambahan kadar aspal selain meningkatkan durabilitas juga memudahkan pekerjaan, tapi juga dapat menyebabkan *bleeding*.

Hasil penelitian menunjukkan akibat rendaman air laut terhadap aspal beton campuran panas (AC-WC) menyebabkan turunnya stabilitas campuran. Selain faktor air yang merendam aspal beton campuran panas(AC-WC), temperatur juga berpengaruh besar terhadap potensi durabilitas.

## Kesimpulan dan Rekomendasi

### 7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis, dan teori yang ada maka ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Kadar aspal optimum ditetapkan sebesar 5,5% dari berat agregat, karena mempunyai nilai stabilitas yang tinggi 1220 kg, VMA yang paling kecil 15,03%, dan nilai VITM paling besar yang disyaratkan 5,24% dibandingkan dengan kadar aspal 6,0% dari berat agregat.
2. Nilai indeks kekuatan sisa (*IKS*) diperoleh berdasarkan kriteria stabilitas Marshall, semakin lama benda uji direndam nilai stabilitasnya makin turun. Hal ini disebabkan air beserta unsur-unsur yang terkandung didalamnya merusak struktur aspal dan mempercepat proses oksidasi. Hasil penelitian pada kadar aspal optimum 5,5% menunjukkan rendaman ½ jam menghasilkan *IKS* sebesar 88,0%, rendaman 1 jam menghasilkan *IKS* sebesar 85,7%, rendaman 2 jam menghasilkan *IKS* sebesar 85,5%, dan rendaman 3 jam menghasilkan *IKS* sebesar 85,0%.
3. Penambahan kadar aspal sampai 1% dari kadar aspal optimum 5,5% meningkatkan tebal lapisan film aspal yang menyebabkan turunnya stabilitas dan naiknya durabilitas benda uji, ini disebabkan

aspal yang menyelimuti agregat bertambah banyak, menyebabkan rongga pada campuran kecil dan aspal yang seharusnya sebagai pelumas untuk mengisi rongga-rongga dan mengikat aspal berubah fungsi menjadi pelicin.

4. Pemakai kadar aspal harus tetap memperhatikan nilai VMA, VITM, FVWA, stabilitas, dan *flow*, tidak hanya untuk durabilitas, sehingga penggunaan kadar aspal yang paling baik adalah kadar aspal optimum untuk menghasilkan campuran yang paling maksimal.
5. Pemilihan kadar aspal untuk suatu campuran pada perkerasan didasarkan pada volume lalu lintas, jalan dengan volume lalu lintas yang tinggi sebaiknya menggunakan kadar aspal optimum agar diperoleh stabilitas yang maksimal, sedangkan bila lalu lintas rendah digunakan kadar aspal maksimal 1% dari KAO untuk mendapatkan perkerasan yang lebih awet (*durable*).

## 7.2 Rekomendasi

Periode rendaman benda uji pada penelitian ini sangat terbatas hanya selama 14 hari sehingga penurunan indeks kekuatan sisa masih dalam batas yang diizinkan, untuk itu perlu kiranya dilakukan rendaman benda uji sampai dengan 3,6, dan 12 bulan untuk melihat tingkat daya tahan perkerasan beton aspal.

1. Perlu kiranya dilakukan penelitian tingkat keawetan agregat batu pecah setelah direndam air laut dengan periode waktu rendaman yang panjang, hal ini dilakukan untuk melihat daya tahan agregat apakah makin kuat atau makin rapuh, begitu juga halnya dengan aspal.
2. Penambahan kadar aspal meningkatkan keawetan campuran aspal beton yang merupakan hasil dari

penelitian ini, selain itu perlu kiranya melakukan perubahan gradasi agregat yang dipakai dan jenis *filler* yang dipakai untuk mendapatkan perbandingan keawetannya.

3. Jalan-jalan yang berada di daerah pesisir sering digenangi air laut akibat pasang surut, selain itu juga dapat tergenang oleh air yang berasal dari selokan (*drainage*) dan air hujan, oleh karena itu perlu juga dilakukan penelitian tingkat keawetan jalan akibat rendaman yang berasal dari air laut yang bercampur dengan air selokan dan air hujan.

## DAFTAR KEPUSTAKAAN

1. AASHTO, 1986, *Guide for Design of Pavement Structures*, 444n. Capital Street, N.W., Suite 225, Washington, D. C. 20001
2. Anonim, 1990, *Kumpulan SNI Bidang Pekerjaan Umum Mengenai Perkerasan Jalan*, Departemen Pekerjaan Umum.
3. Anonim, *Spesifikasi Campuran Beraspal Panas*, 2002, Badan Penelitian dan Pengembangan Pemukiman dan Prasarana Wilayah, Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi, Depkimpraswil
4. Asphalt Institute, 2001, *Construction of Hot Mix Asphalt Pavement*, Manual Series No.22 (MS-22), Second Edition, Lexington, Kentucky, USA.
5. Asphalt Institute, 1997, *Mix Desig Methodes For Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types*, Manual Series No.2 (MS-2), Sixth Edition, Lexington, Kentucky, USA.
6. Asphalt Institute, 2001, *Introduction to Asphalt*, Manual Series No.5, Eighth Edition, USA.
7. Bina Marga, 1987, *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (LASTON) untuk Jalan Raya*, Yayasan Penerbit PU.
8. Craus, J., Ishai, I., and Sides, A., (1981), *Durability of Bituminous Paving Mixtures as Related To Filler Type and Properties*, Proceeding

Association of Asphalt Paving Technologist, Vol. 50, pp 291-318, San Antonio, Texas.

9. Daintith, J., 1990, *Kamus Lengkap Kimia*, Edisi Baru, Penerbit Erlangga, Jakarta.
10. Derucher, K. N., George, P. K., and Samer, A.E, (1998), *Materials For Civil and Highway Engineers*, Fourth Edition, Prentice-Hall, Inc. Simon & Schuster / A Viacom Company Upper Saddle River, New Jersey, USA.
11. Effendi, H., 2004, *Tinjauan Tahan Lama Terhadap Air Sungai Berlumpur Pada Campuran Beton Aspal*, Tesis MSTT, UGM Yogyakarta.
12. Hendarsin, S.L., 2000, *Perencanaan Teknik Jalan Raya*, Politeknik Negeri Bandung.
13. Kosasih, D., *Perancangan Perkerasan dan Bahan*, Catatan Kuliah, Penerbit ITB, Penerbit ITB, Jl. Ganesa 10, Bandung.
14. Kramadibrata, S., 2002, *Perencanaan Pelabuhan*, Penerbit ITB, Jl. Ganesa 10, Bandung.
15. Kusumawati, A., 2000, *Tes Difusi sebagai Suatu Indikator Alternatif untuk penilaian Durabilitas Campuran Beraspal*, Simposium III, FSTPT, Gedung Pascasarjana UGM, Yogyakarta.
16. Laitinen, J.T., 1998, *Asphalt Concrete (and Macadam) Surface Course*, in *Asphalt Surfacing*, Editor : Nicholls, J.C.E., and Spon T.N., London
17. Oktorizal, B., 1999, *Pengaruh Air Asin Terhadap Durabilitas Campuran Beton Aspal*, Simposium II, FSTPT, ITS, Surabaya.

## TENTANG PENULIS



Sebagai seorang dosen senantiasa melakukan tri dharma perguruan tinggi. Salah satu wujud dari tri dharma tersebut adalah menulis buku referensi. Penulis saat ini adalah dosen dalam bidang transportasi pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UNIMAL yang lahir

di Lhokseumawe, 7 Nopember 1972. Mata kuliah yang diampu meliputi Rekayasa Jalan, Bahan dan Perkerasan Jalan, Rekayasa Lalulintas serta Statistik dan Probabilitas.

Pendidikan Sarjana diselesaikan pada tahun 1998 di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik USU kemudian melanjutkan Pascasarjana Magister Sistem dan Teknik Transportasi di UGM dan selesai pada tahun 2005. Saat ini sedang melanjutkan pendidikan pada Program Doktorat Perencanaan Wilayah di USU dengan topik penelitian Pemeliharaan Jalan Lintas Timur Aceh dalam Perencanaan Wilayah. Penulis aktif melaksanakan penelitian dan pengabdian masyarakat serta menulis pada beberapa jurnal yang terbit secara nasional dan prosiding internasional.

Dalam menjalankan profesi dosen di Program Studi Teknik Sipil, penulis mendapat kepercayaan pada tahun 2008 – 2010 sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Sipil dan pada tahun 2010 – 2012 sebagai Kepala Laboratorium Teknik Sipil. Saat ini dipercaya sebagai Pembantu Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.

18. Sukirman, S., 2003, *Beton Aspal Campuran Panas*, Edisi pertama, Granit, Jakarta.
19. Sukirman, S., 1992, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit Nova, Bandung.
20. Suparma, L. B., 2001, *The Use of Recyled Waste Plastic in Bituminous Composite, PhD, Thesis, Unpublished, The University of Leeds, United Kingdom.*
21. Suparma, L. B., 2005, *Bahan Konstruksi*, Catatan Kuliah MSTT, Penerbit MSTT, UGM, Yogyakarta.
22. Totomihardjo, S., 2004, *Bahan dan Struktur Jalan Raya*, Biro Penerbit KMTS FT UGM, Yogyakarta.
23. Rustomo, 2004, *Daya Tahan Lama Terhadap Air Hujan pada Campuran Beton Aspal*. Tesis MSTT, UGM, Yogyakarta.
24. Triatmodjo, B., 1999, *Teknik Pantai*, Penerbit Beta Offset, Yogyakarta
25. Whiteoak, D., 1990, *The Shell Bitumen Handbook*, Shell Bitumen UK, East Molesey, Surrey.
26. Wibowo, S. S., Frazila, R., B., dan Kusumawati, A., 2000, *Pengantar Rekayasa Jalan*, Sub Jurusan Rekayasa Transportasi, Jurusan Teknik Sipil, ITB, Bandung.