BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Hasil Pengujian Bahan Agregat dan Aspal

Hasil pemeriksaan bahan agregat dan aspal selengkapnya ditunjukkan dalam Tabel 4.1. Pengujian agregat yang dilakukan meliputi pengujian keausan dengan mesin *los angeles*, pengujian kelekatan agregat terhadap aspal, penyerapan terhadap air dan berat jenis semu. Adapun untuk pengujian bahan ikat aspal meliputi pengujian berat jenis, pengujian titik lembek, penetrasi, kehilangan berat dan penetrasi kehilangan berat.

Tabel 4.1 Hasil pengujian agregat dan aspal

No	Pengujian	Syarat (Bina Marga, 2010)	Satuan	Hasil Pengujian
		Agregat Kasar		
1	Keausan dengan mesin loss angeles	maks. 40	%	38,66
2	Kelekatan agregat	min. 95	%	98
3	Penyerapan Terhadap air	maks. 3	%	2,4
4	Berat Jenis Semu	min. 2,5	gr/cm3	2,62
		Agregat Halus		
1	Berat Jenis Semu	min. 2,5	gr/cm3	2,77
2	Kelekatan agregat terhadap aspal	min. 95	%	98
3	Penyerapan Terhadap air	maks. 3	%	1,52
		Filler		
1	Berat Jenis	min. 2,5	gr/cm3	2,61
		Aspal		
1	Berat Jenis	> 1,0	gr/cc	1,031
2	Titik Lembek	min 48	C	51
3	Penetrasi 25° C	60-70	0,1 mm	63,3
4	Kehilangan berat	maks 0,4	% berat	0,305
5	Penetrasi kehilangan berat	75 % dari pen awal	0,1 mm	57,2

Dari hasil pengujian terhadap bahan-bahan penyusun campuran AC–WC yaitu agregat kasar, agregat halus, filler dan aspal secara keseluruhan memenuhi spesifikasi yang telah disyaratkan oleh Bina Marga dalam Spesifikasi Umum tahun 2010 revisi ke dua.

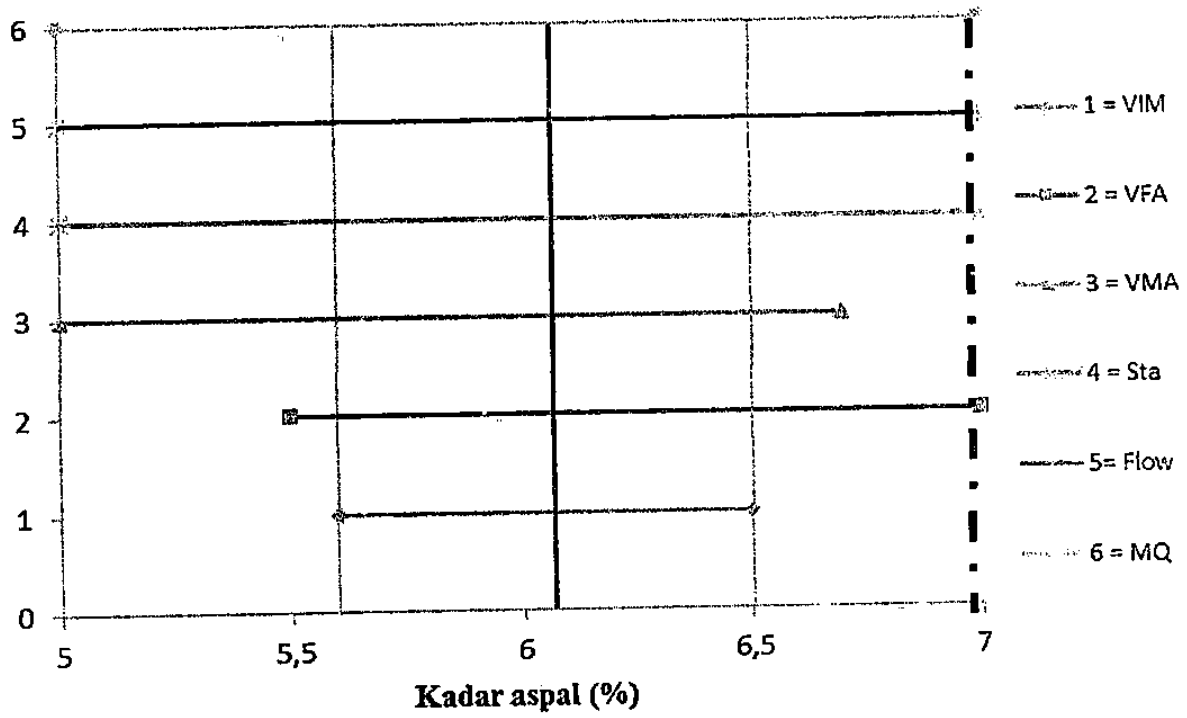
2. Hasil Pengujian *Marshall*

Pengujian *Marshall* dilakukan untuk memeriksa karakteristik campuran perkerasan yaitu nilai kerapatan, VITM, VMA, VFWA, stabilitas, kelelehan (*flow*) dan MQ. Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengujian Marshall terhadap benda uji dengan vatiasi kadar aspal 5 – 7 %.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Marshall dengan variasi kadar aspal tertentu

No	Kriteria	Spesifikasi Bina Marga (2010)	Kadar aspal (%)				
			5	5,5	6	6,5	7
1	Density	Min 2 gr/cm^3	2,25	2,28	2,29	2,30	2,33
2	VFWA	min 65 %	54,21	65,54	73,43	80,23	93,18
3	VITM	3 - 5,5 %	7,44	5,28	4,08	3,05	1,03
4	VMA	min 15 %	16,22	15,30	15,29	15,44	14,75
5	Stabilitas	min 800 kg	2208,56	2708,28	2664,77	2677,13	2646,48
6	Flow	min 3 mm	5,25	5,42	5,70	5,68	5,6
7	MQ	min 250 kg/mm	437,44	495,22	474,66	474,78	475,84

Pada penelitian ini, penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) menggunakan metode *arrow range*. Dari hasil pengujian (Tabel 4.2) selanjutnya dibuat grafik hubungan antara (*density*, VMA, VIM, VFWA, stabilitas, *flow*, dan *Marshall Quotient*) terhadap spesifikasi Bina Marga tahun (2010).



Gambar 4.1 Grafik Kadar Aspal Optimum Benda Uji

Dari Gambar 4.1 ditentukan bahwa kadar aspal optimum dalam rentang nilai 5,6% dan 6,5%, adalah 6,05 %. Selanjutnya KAO 6,05 % ini digunakan sebagai kadar aspal yang digunakan untuk membuat benda uji yang akan direndam.

3. Hasil Pengujian Marshall untuk Berbagai Variasi Rendaman

Benda uji KAO (6,05%) selanjutnya direndam pada suhu 60 ° C dengan variasi waktu rendaman 30 menit, 12 jam, 24 jam, 2 hari, 4 hari, 8 hari dan 16 hari. Setelah benda uji direndam pada variasi waktu tersebut, kemudian dilakukan pengujian *Marshall* dan analisa perhitungan *Marshall*. Hasil pengujian Marshall

Tabel 4.3 Hasil pengujian *Marshall* untuk variasi rendaman benda uji

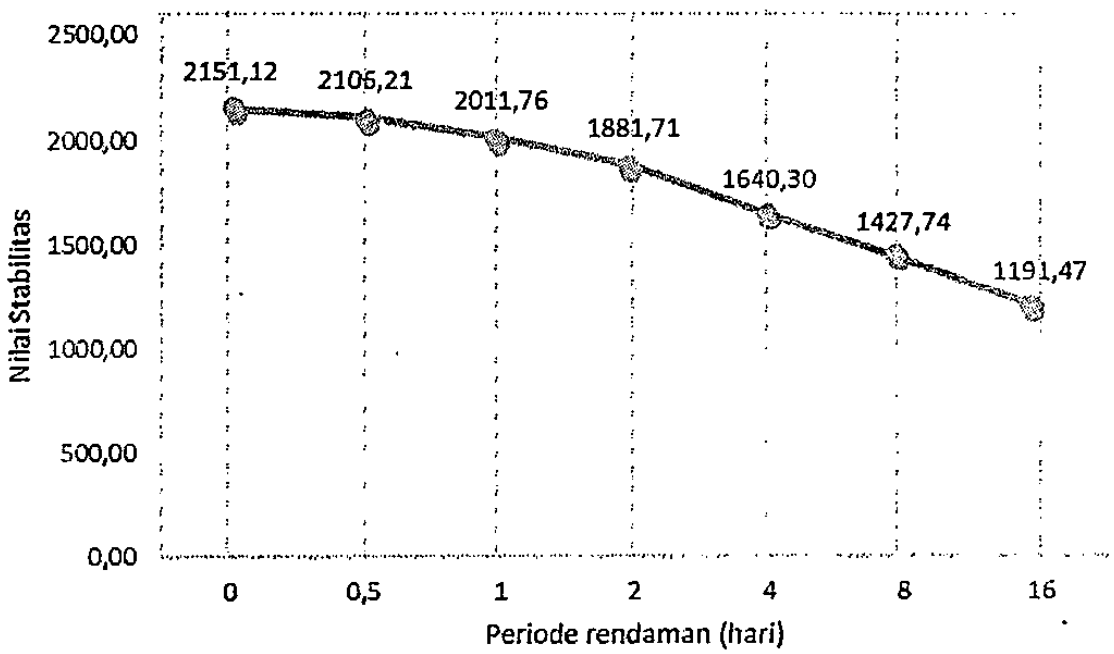
No	Variasi rendaman	Parameter Marshall					
		VMA (%)	VFA (%)	VIM (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
1	30 menit	15,01	76,00	3,64	2151,12	3,13	688,36
2	12 jam (1/2 hari)	14,83	76,94	3,43	2106,21	4,37	482,34
3	24 jam (1 hari)	14,72	77,59	3,30	2011,76	3,80	536,47
4	2 hari	14,89	76,60	3,49	1881,71	4,10	458,95
5	4 hari	14,87	76,68	3,47	1640,30	4,23	388,24
6	8 hari	15,34	73,97	4,01	1427,74	5,13	278,58
7	16 hari	15,22	74,67	3,87	1191,47	4,26	279,69

B. Pembahasan

1. Hasil Analisis Nilai Stabilitas Marshall Lama Waktu Perendaman

Dari Tabel 4.3 di atas, terlihat bahwa periode rendaman mempengaruhi tingkat keawetan (durabilitas) suatu perkerasan. Penurunan nilai stabilitas pada seiring lamanya peredaman mengindikasikan bahwa campuran perkerasan tersebut mengalami pengurangan kekuatan. Hal ini diakibatkan adanya kerusakan yang disebabkan oleh infiltrasi air ke dalam rongga campuran perkerasan tersebut. Periode rendaman dan suhu perendaman 60° C dapat merusak keutuhan struktur perkerasan, dikarenakan air dapat menghilangkan sifat kohesi dan kekakuan aspal. Penyebab lain dari turunnya nilai stabilitas selama periode peredaman adalah karena air dapat merusak sifat adhesi antara aspal dan agregat dalam campuran (*stripping*).

Kurva penurunan nilai stabilitas pada periode rendaman hingga 16 hari dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Perbandingan nilai stabilitas terhadap waktu rendaman

2. Hasil Analisis Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Dari nilai stabilitas selanjutnya dilakukan perhitungan nilai Indeks Kekuatan Sisa terhadap variasi rendaman. Nilai Indeks Kekuatan Sisa terhadap benda uji dari hasil penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.4.

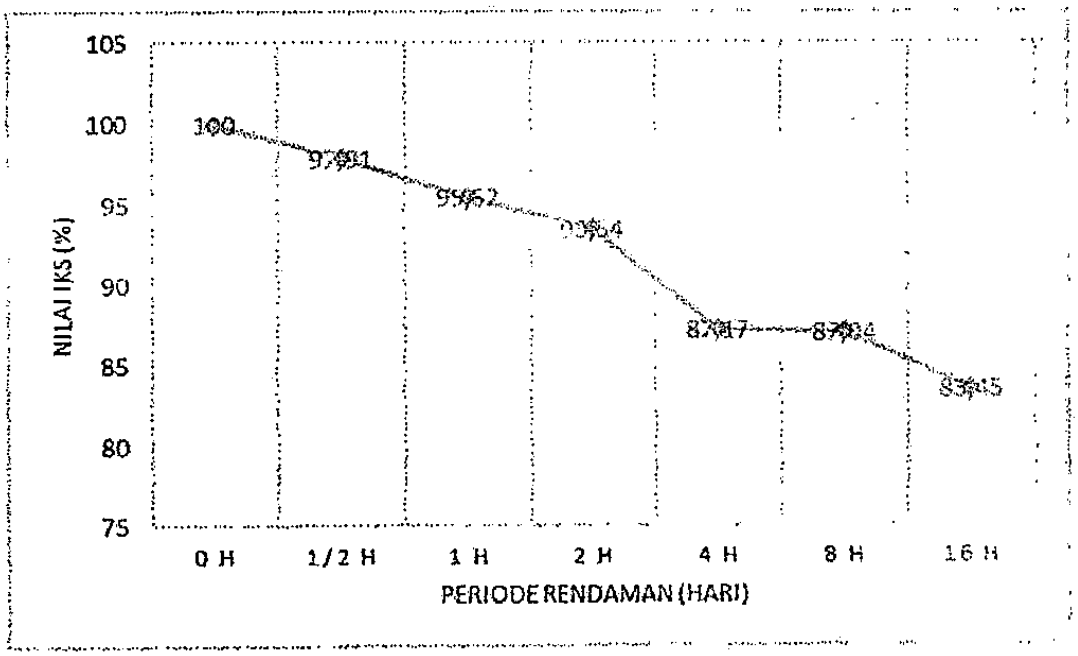
Tabel 4.4 Nilai IKS masing-masing variasi rendaman

Parameter	Durasi Rendaman (jam)						
	½ jam (30 menit)	12 jam (1/2 hari)	24 jam (1 hari)	48 jam (2 hari)	96 jam (4 hari)	192 jam (8 hari)	384 jam (16 hari)
Nilai Stabilitas (Kg)	2151,12	2106,21	2011,76	1881,71	1640,30	1427,74	1191,47
Nilai IKS (%)	100	97,91	95,52	93,54	87,17	87,04	83,45

Tabel 4.4 di atas menunjukkan bahwa seluruh nilai indeks kekuatan sisa (IKS) untuk variasi rendaman 0, ½, 1, 2, 4, 8, 16 hari masih memenuhi syarat yang telah ditetapkan oleh Bina Marga tahun 1983 (minimal 75%). Adapun pada peraturan Spesifikasi Bina Marga tahun 2010 revisi ke-2 nilai IKS yang di

Pada tabel di atas, juga ditunjukkan bahwa prosentase IKS mengalami penurunan nilai seiring lama periode rendaman. Hal ini disebabkan terdapat rongga di permukaan perkerasan memberikan peluang terhadap air untuk berinfiltrasi kedalam struktur perkerasan yang selanjutnya akan merusak ikatan antara agregat dengan aspal yang menjadikan agregat dan aspal mengalami pengurangan kekuatan akibat ikatan yang tidak kompak dan kehilangan sifat adhesi dan kohesi antara agregat dengan aspal. Semakin lama lapisan perkerasan terendam air akan menjadikan lapisan perkerasan menjadi getas dan tidak awet akibat lepasnya ikatan antara aspal dan agregat. Meskipun mengalami penurunan nilai durabilitas selama masa perendaman, namun hingga rendaman 16 hari nilai Indeks Kekuatan Sisa (83,45 %) dari benda uji masih dalam syarat aman di atas 75%. Batas nilai IKS mengindikasikan bahwa campuran aspal dianggap masih cukup kuat terhadap kerusakan yang disebabkan oleh genangan air dan dapat diasumsikan bahwa perkerasan tersebut masih layak dan kuat menahan beban lalu lintas harian dan tidak menimbulkan deformasi dan kerusakan pada lapisan perkerasan.

Gambar 4.3 menunjukan kurva penurunan nilai IKS selama periode rendaman 0 – 16 hari yang menunjukan nilai penurunan sebesar 83,45 %.



3. Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Selain Indeks Kekuatan Sisa, nilai indeks penurunan stabilitas juga dapat digunakan untuk mengukur kinerja durabilitas campuran beton aspal. Indeks penurunan stabilitas dapat digambarkan oleh indeks durabilitas pertama (IDP) dan indeks durabilitas kedua (IDK). Nilai IDP dari hasil observasi benda uji dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.6, dan tabel 4.7 menunjukan nilai r (%) dan R (kag) dalam nilai IDP

Tabel 4.6 Nilai Indeks durabilitas pertama

Nilai IDP	Durasi Rendaman (jam)						
	30 menit	12 jam	24 jam	48 jam	96 jam	192 jam	384 jam
Nilai IKS	100,00	97,91	95,52	93,54	87,17	87,04	83,45
Nilai IDP	0	0,182	0,381	0,464	0,596	0,598	0,616

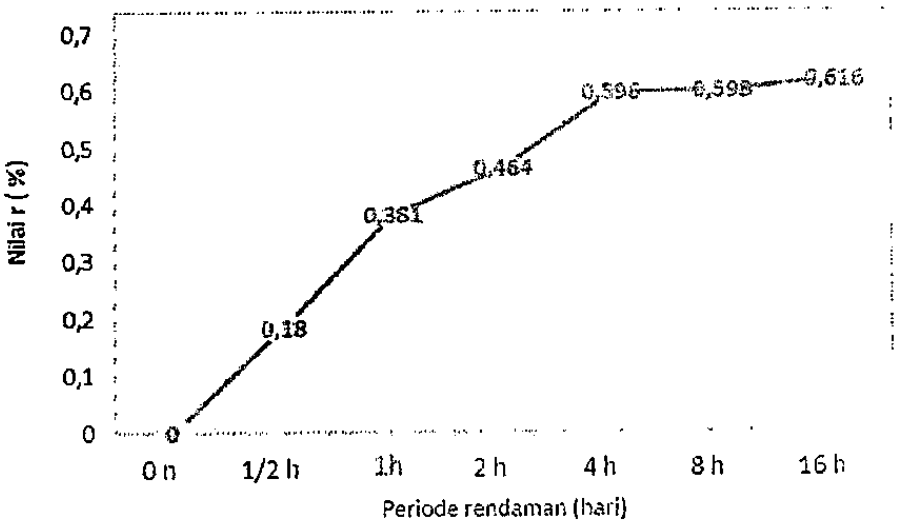
Tabel 4.7 Nilai r dan R pada IDP

No	Durasi rendaman (jam)	Nilai IKS	Nilai IDP	
			r (%)	R (kg)
1	0 jam	100,00	0	0
2	12 jam	97,91	0,18	3,91
3	24 jam	95,52	0,381	8,20
4	2 hari	93,54	0,464	9,98
5	4 hari	87,17	0,596	12,83
6	8 hari	87,04	0,598	12,86
7	16 hari	83,45	0,616	13,26

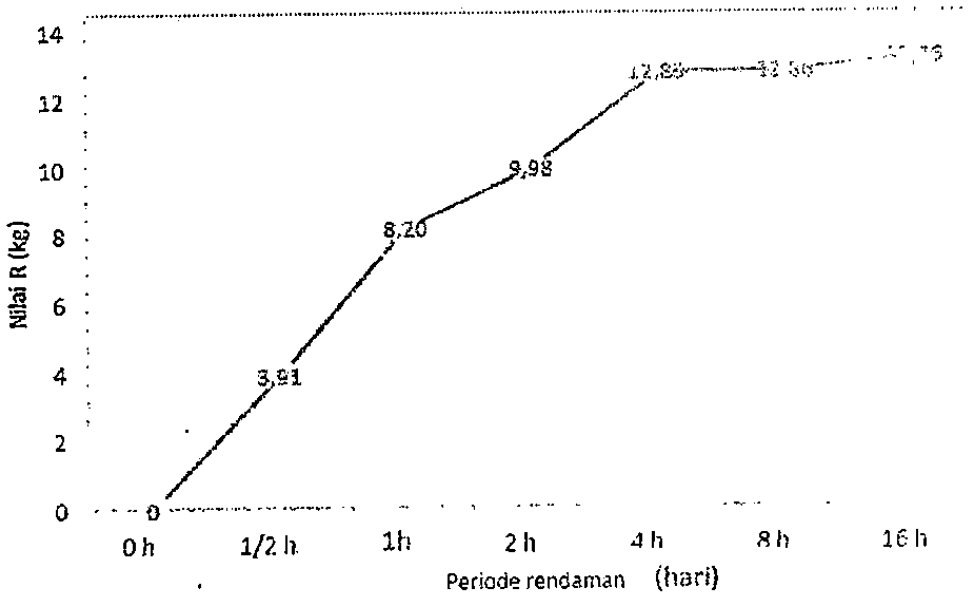
Pada rendaman setengah hari, campuran aspal kehilangan kekuatan sebesar 0,18 %, dan pada rendaman di hari pertama (24 jam) campuran kehilangan kekuatan sebesar 0,381 % atau sebesar 8,20 kg, pada rendaman hari ke 2 (48 jam) campuran perkerasan mengalami kehilangan kekuatan sebesar 0,464 % atau sebesar 9,98 kg. Untuk rendaman pada hari ke 4, campuran mengalami kehilangan kekuatan sebesar 0,596 %, berturut pada hari ke 8 sebesar 0,598 dan hari ke 16 sebesar 0,616 atau sebesar 13,26 kg. Semakin besar nilai indeks penurunan

masuk dalam campuran yang selanjutnya merusak ikatan agregat dan aspal, sebagai mana ditunjukkan pada Gambar 4.4. Gambar 4.5 menunjukkan lama perendaman yang mengakibatkan naiknya nilai absolut kehilangan stabilitas (R).

Pada penelitian terdahulu, (Ali, 2013) juga menunjukan kenaikan kurva nilai r (%) dan R (kg) pada spesifikasi Aspal beton dengan bahan tambahan *marble waste* 50 %, dengan nilai kehilangan kekuatan sebesar 3,779 % atau setara dengan kehilangan bobot kekuatan 33,53 kg.



Gambar 4.4 hubungan nilai r (%) terhadap periode rendaman

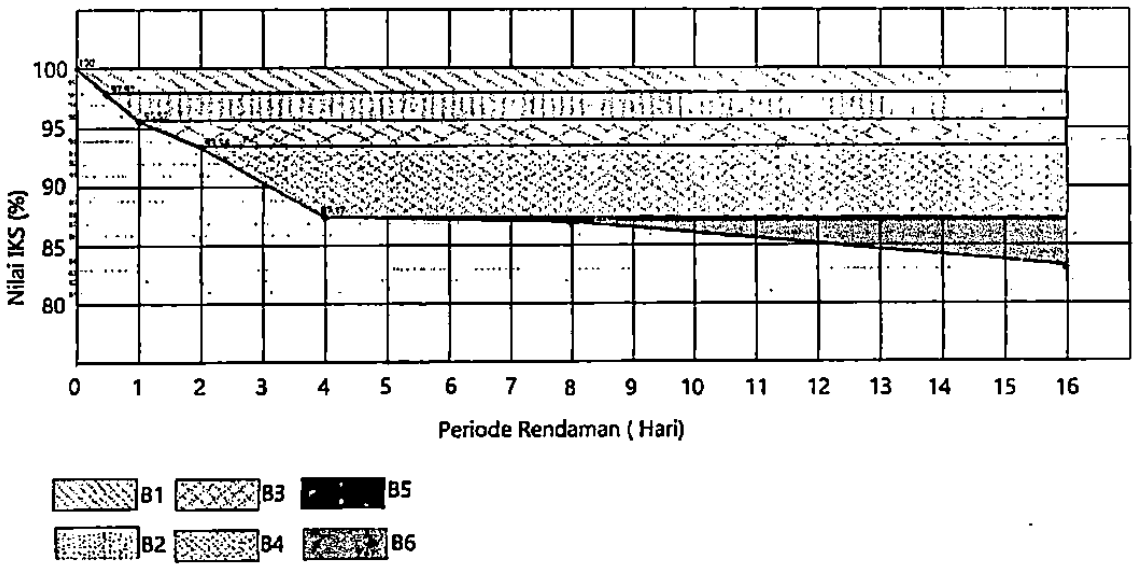


4. Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Indikator lain yang digunakan untuk melihat tingkat durabilitas campuran aspal beton adalah nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK). Indeks durabilitas kedua didefinisikan sebagai rerata luasan kehilangan kekuatan yang dibentuk antara kurva durabilitas dan garis So = 100 %. Indeks durabilitas kedua dinotasikan dengan a (%), dimana nilai positif menunjukan adanya kehilangan kekuatan, sedangkan nilai negatif berarti terdapat penambahan kekuatan. Hasil analisa dan perhitungan nilai IDK dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.6.

Tabel 4.7 Perhitungan Nilai Indeks durabilitas kedua

Kode Area	Area (cm ^{2})		total rendaman	IDK (%)
B1	(16 + 15,5) x (0,5 x (100-97,91))	32,92	16	2,06
B2	(15,5 + 15) x (0,5 x (97,91-95,52))	36,45	16	2,28
B3	(15 + 14) x (0,5 x (95,52-93,54))	28,71	16	1,79
B4	(14 + 12) x (0,5 x (93,54-87,17))	82,81	16	5,18
B5	(12+ 8) x (0,5 x (87,17-87,04))	1,3	16	0,08
B6	(0,5 x (87,04 - 83,45)x 8)	14,36	16	0,90
			Nilai ID II (%) =	12,29 %
			Sa (%) = 100 – a =	87,71%
No	Masa rendaman	a	A= (a/100) x So	
1	0 hari			
2	12 jam	2,06	44,26	
3	24 jam	2,28	49,00	
4	2 hari	1,79	38,60	
5	4 hari	5,18	111,33	
6	8 hari	0,08	1,75	
7	16 hari	0,90	19,31	
		SA (kg)	264,24	



Gambar 4.6 Nilai indeks kekuatan sisa per periode rendaman

Bidang B1 (Gambar 4.6) menunjukkan luasan area dari nilai kehilangan kekuatan lapisan perkerasan pada rendaman selama 12 jam, dimana didapat luasan sebesar 32,92 cm ^{2} dari total waktu rendaman selama 16 hari. Bidang B1 mengalami kehilangan kekuatan sebesar 44,26 kg dari rentang periode 16 hari. Bidang B2 menunjukan luasan area dari nilai kehilangan kekuatan lapisan perkerasan pada rendaman selama 24 jam, dimana didapat luasan sebesar 36,45 cm ^{2} dari total waktu rendaman selama 16 hari. Bidang B2 mengalami kehilangan kekuatan sebesar 49 kg dari rentang periode 16 hari.

Bidang B3 (Gambar 4.6) menunjukan luasan area dari nilai kehilangan kekuatan lapisan perkerasan pada rendaman selama 48 jam, dengan luasan sebesar 28,71 cm^2 dari total waktu rendaman selama 16 hari. Bidang B3 mengalami kehilangan kekuatan sebesar 38,60 kg dari rentang periode 16 hari. Bidang B4 menunjukan luasan area dari nilai kehilangan kekuatan lapisan perkerasan pada rendaman selama 4 hari, dengan luasan sebesar 82,81 cm^2 dari total waktu

kehilangan kekuatan terbesar selama periode rendaman 16 hari, Bidang B4 mengalami kehilangan kekuatan sebesar 111,33 kg dari rentang periode 16 hari.

Bidang B5 (Gambar 4.6) menunjukan luasan area dari nilai kehilangan kekuatan lapisan perkerasan pada rendaman selama 8 hari, dengan luasan sebesar 1,3 cm^2 dari total waktu rendaman selama 16 hari, dimana bidang B5 ini memiliki nilai kehilangan kekuatan paling kecil diantara periode rendaman lainnya. Bidang B5 mengalami kehilangan kekuatan sebesar 1,75 kg dari rentang periode 16 hari. Bidang B6 menunjukan luasan area dari nilai kehilangan kekuatan lapisan perkerasan pada rendaman selama 16 hari, dengan luasan sebesar 14,36 cm^2 dari total waktu rendaman selama 16 hari, atau kehilangan kekuatan sebesar 19,31 kg.

Secara keseluruhan, benda uji mengalami penurunan nilai durabilitas kedua sebesar 12,29 % dan memiliki nilai kekuatan sisa dari IDK sebesar 87,71% atau kehilangan bobot hingga 264,24 kg. Nilai IDK sebesar 87,71 % mengindikasikan bahwa campuran perkerasan masih kuat bertahan hingga masa rendaman mencapai periode 16 hari rendaman. Penurunan nilai kekuatan perkerasan sebesar 12,29% disebabkan oleh air yang berinfiltrasi kedalam rongga perkerasan akan mereduksi kekuatan perkerasan dan menjadikan perkerasan bersifat getas dan

5. Evaluasi Nilai Stabilitas, IKS, IDP dan IDK terhadap Pengaruh Waktu Rendaman.

Dari hasil pengujian bahan susun untuk campuran AC WC didapat hasil rekapitulasi yang memenuhi persyaratan sesuai spesifikasi pada tahap rendaman hingga 16 hari adalah sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.8 dan 4.9 berikut.

Tabel 4.8. Pengaruh lama perendaman terhadap karakteristik *Marshall* dan perendaman modifikasi

Karakteristik *Marshall*	Syarat	Durasi rendaman						
		30 mnt	12 jam	24 jam	2 hari	4 hari	8 hari	16 hari
Density		2,30	2,31	2,31	2,31	2,31	2,29	2,30
VMA	> 15	15,01	14,83	14,72	14,89	14,87	15,34	15,22
VFWA	> 65	76	76,94	77,59	76,6	76,68	73,97	74,67
VIM	3,0 - 5,5	3,64	3,43	3,30	3,49	3,47	4,01	3,87
Stabilitas	> 800 kg	2151,12	2106,21	2011,76	1881,71	1640,3	1427,74	1191,47
Flow	> 3 mm	3,13	4,37	3,75	4,10	4,23	5,13	4,26
MQ	> 250 kg/mm	688,36	482,34	536,47	458,95	388,24	278,58	279,69

Tabel 4.9. Pengaruh lama perendaman terhadap nilai Indeks Durabilitas

Karakteristik Perendaman modifikasi	Durasi rendaman						
	30 menit	12 jam	24 jam	2 hari	4 hari	8 hari	16 hari
IKS	100,00	97,91	95,52	93,54	87,17	87,04	83,45
ID I (r, %)	0	0,182	0,381	0,464	0,596	0,598	0,616
ID I (R, kg)	0	3,91	8,20	9,98	12,83	12,86	13,26
ID II (Sa, %)	100	97,94	97,72	98,21	94,82	99,92	99,10
ID II (SA, kg)	0	44,26	49,00	38,60	111,33	1,75	19,31

Dari hasil evaluasi pengujian dapat disimpulkan bahwa karakteristik Marshall terhadap waktu perendaman memenuhi persyaratan, nilai VIM untuk semua variasi perendaman, yakni diantara 3 – 5,5 %, ini memperlihatkan bahwa keputusan memilih kadar aspal optimum pada nilai tengah 5,6 sampai 6,5 sudah

pengujian stabilitas pada kondisi standar terhadap lama perendaman juga memenuhi syarat, dimana persyaratan nilai stabilitas adalah sebesar > 800 kg. Nilai pengujian flow juga memenuhi persyaratan, pada semua variasi durasi perendaman. Nilai pengujian MQ juga masih memenuhi persyaratan, dimana persyaratan nilai MQ adalah sebesar 250 kg/mm.

Ketepatan penggunaan KAO dan gradasi Laston ini dapat mempengaruhi durabilitasnya terhadap variasi rendaman pada suhu 60°C, yang dinyatakan dalam IKS, IDP dan IDK. Nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) pada variasi perendaman memenuhi persyaratan, dengan persyaratan nilai IKS > 75 %. Begitu juga dengan nilai Indeks Durabilitas Pertama dan Indeks Durabilitas Kedua, dimana kedua karakteristik tersebut terjadi pengurangan nilai kekuatan namun tidak sampai pada nilai minimal. Untuk Indeks Durabilitas Pertama memiliki nilai sebesar 0,616%, atau kehilangan kekuatan hingga 13,26 kg, dan untuk nilai Indeks Durabilitas Kedua, menunjukan nilai sebesar 12,29 % dan memiliki nilai kekuatan sisa dari IDK sebesar 87,71% atau kehilangan bobot hingga 264,24 kg. Hal ini menunjukan bahwa lapisan perkerasan ini cukup kuat dan awet terhadap gangguan rendaman dan penetrasi air selama periode rendaman hingga 16 hari.

Guna mendapatkan nilai durabilitas yang tinggi, maka perlu adanya penjagaan terhadap nilai rongga dalam campuran Laston masuk spesifikasi. Rongga udara yang terlalu besar di dalam campuran dimungkinkan dapat disebabkan pelaksanaan kontruksi lapis permukaan aspal yang tidak sesuai dengan petunjuk pelaksanaan, dimana terkadang jumlah lindasan terhadap aspal yang telah digelar dikurangi, atau tidak sesuai dengan jumlah yang ditentukan. Hal ini menjadikan campuran perkerasan kurang padat dan kuat (banyak rongga di dalam campuran) yang dapat menyebabkan terjadinya proses infiltrasi air ke dalam campuran perkerasan. Pada akhirnya, proses ini akan merusak campuran perkerasan yang akan menjadikan aspal menjadi getas dan tidak kuat, dan akan [illegible] tingkat kekuatan jalan yang tidak sesuai dengan umur rencana