

ANALISIS PERENDAMAN TERHADAP DURABILITAS CAMPURAN HRS-WC

MUHAMMAD AMINSYAH

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas

Corresponding Author: ✉ aminsyah@eng.unand.ac.id

Naskah diterima: 24 Februari 2026. Disetujui : 12 Maret 2026. Diterbitkan : 31 Maret 2026

ABSTRAK

Jalan raya merupakan infrastruktur vital yang mendukung distribusi barang, mobilitas manusia, dan pertumbuhan ekonomi. Di Indonesia, lebih dari 90% jaringan jalan menggunakan perkerasan lentur dengan campuran aspal sebagai lapis permukaan. Kinerja perkerasan lentur sangat dipengaruhi oleh durabilitas campuran aspal terhadap kondisi lingkungan dan beban lalu lintas berulang. Salah satu jenis lapis perkerasan aspal beton adalah Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC). Pada penelitian ini, kinerja durabilitas diuji dengan cara merendam 0 hari, 1 hari, 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 17 hari. Kinerja durabilitas campuran HRS-WC berupa Indeks Kekuatan Sisa (IKS), Indeks Durabilitas dan kurva keawetan. Hasil penelitian memperlihatkan nilai IKS berkurang dengan bertambahnya masa perendaman, di mana pada 1 hari perendaman menjadi 93,68%, pada 3 hari perendaman menjadi 92,74%, pada 7 hari perendaman menjadi 91,33%, pada hari ke-14 menjadi 83,18%, dan pada hari ke-17 menjadi 83,11%. Nilai IDP yang dihasilkan adalah 0,353% dan nilai IDK yang dihasilkan sebesar 8,004%. Hasil nilai IKS campuran HRS-WC ini yang memenuhi standar Bina Marga hanya sampai hari ke-7. Nilai IDP dan IDK yang positif menunjukkan terjadi kehilangan kekuatan pada campuran.

Kata kunci: HRS-WC, IKS, IDP, IDK, durabilitas

1. PENDAHULUAN

Jalan raya merupakan infrastruktur vital yang mendukung distribusi barang, mobilitas manusia, dan pertumbuhan ekonomi. Di Indonesia, lebih dari 90% jaringan jalan menggunakan perkerasan lentur dengan campuran aspal sebagai lapis permukaan. Kinerja perkerasan lentur sangat dipengaruhi oleh durabilitas campuran aspal terhadap kondisi lingkungan dan beban lalu lintas berulang (Sukirman, 2010).

Durabilitas campuran aspal didefinisikan sebagai kemampuan campuran untuk mempertahankan sifat mekanis dan fungsionalnya dalam jangka waktu layanan tanpa mengalami kerusakan dini berupa retak fatigue, deformasi permanen, pelepasan agregat, serta oksidasi aspal (Siswosoebroto et al., 1999). Kegagalan durabilitas menyebabkan

penurunan tingkat pelayanan jalan, peningkatan biaya pemeliharaan, dan terganggunya kenyamanan pengguna jalan. Data Kementerian PUPR menunjukkan kerusakan dini pada perkerasan lentur sering terjadi sebelum mencapai umur rencana, khususnya pada ruas jalan yang mempunyai lalu lintas berat dan curah hujan tinggi.

MDP 2024 sebagai acuan terbaru desain perkerasan di Indonesia menekankan pentingnya analisis mekanistik-empirik dan penggunaan material yang mampu menahan beban lalu lintas rencana hingga >30 juta ESA (Kementerian PUPR, 2024). Namun, pendekatan desain saat ini masih lebih fokus pada kekuatan awal campuran, sementara aspek durabilitas jangka panjang belum sepenuhnya terintegrasi dalam prosedur pengujian rutin. Beberapa faktor yang memengaruhi durabilitas antara lain gradasi agregat, kadar aspal optimum, tipe aspal, rongga udara, dan pengaruh air.

Penelitian tentang durabilitas campuran aspal menjadi relevan untuk mengevaluasi bagaimana modifikasi material dan metode pemadatan dapat meningkatkan umur layanan perkerasan (Sukirman, 2003). Hasil penelitian diharapkan bisa memberikan rekomendasi teknis bagi perencana dan pelaksana pekerjaan jalan dalam memilih komposisi campuran yang tidak hanya kuat saat awal, tetapi juga tahan terhadap degradasi selama umur layan.

Salah satu jenis lapisan permukaan jalan yaitu Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC), dimana langsung dipengaruhi cuaca dan sering terendam air, yang menimbulkan penurunan durabilitas lapisan perkerasan.

Aminsyah (2025) telah meneliti durabilitas campuran AC-BC dengan penambahan fiber selulosa, yang menghasilkan peningkatan durabilitas campuran 1,5 kali dibandingkan tanpa penambahan fiber. Adly (2021) telah meneliti pengaruh rendaman air laut pasang surut atas campuran lapis aspal beton AC-WC yang dimodifikasi dengan steel slag ramah lingkungan. Hasil penelitiannya menyatakan bahwa yang memenuhi standar Marshall berupa stability, VIM, VFB, dan VMA, kecuali flow, maka perkerasan menggunakan modifikasi steel slag ini masih belum layak digunakan, disebabkan oleh sifat air laut yang mengandung mineral yang bisa merusak durabilitas perkerasan.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hubungan antara variasi masa perendaman dengan tingkat durabilitas campuran HRS-WC serta lama waktu perendaman yang bisa menghasilkan kinerja durabilitas campuran yang memenuhi standar dengan memakai agregat yang berasal dari daerah di kawasan Kota Padang.

Penelitian dikerjakan di Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya Departemen Teknik Sipil Universitas Andalas (LTJR, 2008), dilakukan terhadap benda uji dengan variasi masa perendaman campuran aspal berdasarkan prosedur pengujian standar. Parameter yang dianalisis pada penelitian ini yaitu parameter-parameter Marshall (Stabilitas, kelelahan, VIM, VFB, VMA) serta persyaratan campuran mengacu pada Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan 2018, Divisi VI untuk perkerasan aspal. Aspal dengan penetrasi 60/70 digunakan sebagai bahan pengikat (Dirjen Bina Marga, 2018).

2. METODA PENELITIAN

Metoda penelitian berupa pengumpulan data eksperimental yang dilakukan di laboratorium, persiapan dan pengujian karakteristik bahan, trial mix dengan variasi kadar aspal, pengujian kelayakan campuran dengan Marshall test, penentuan kadar aspal optimum, pembuatan benda uji dengan kadar aspal optimum, perendaman benda uji dengan variasi waktu, pengujian benda uji, dan analisis dan pembahasan.

2.1. Metoda Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara melakukan studi eksperimental di laboratorium dengan melakukan pengujian terhadap benda uji dengan memvariasikan lama waktu perendaman benda uji di dalam water bath pada suhu tetap.

2.2. Penyiapan dan Pengujian Karakteristik Bahan

Bahan-bahan campuran aspal yang digunakan meliputi agregat kasar, agregat halus, aspal penetrasi 60/70, dan filler dari abu batu untuk bahan campuran Lapis Beton Aspal.

2.3. Trial Mix dengan Variasi Kadar Aspal

Dengan menggunakan data-data material yang telah didapatkan pada pemeriksaan sebelumnya, dilakukan penentuan kadar aspal teoritis dengan mempergunakan metode luas permukaan. Kadar aspal teoritis ini dipakai untuk trial mix yang bertujuan untuk memperoleh nilai kadar aspal optimum yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji dengan perendaman (Lavin, 2003).

2.4. Pengujian Kelayakan Campuran dengan Marshall Test

Berdasarkan kriteria Marshall, perancangan campuran aspal harus memenuhi beberapa persyaratan utama, yaitu memiliki kadar aspal yang memadai untuk menjamin durabilitas campuran, stabilitas yang cukup agar mampu menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi permanen, rongga dalam campuran yang cukup untuk mengakomodasi pemadatan lanjutan akibat beban kendaraan, serta fleksibilitas yang baik sehingga campuran dapat mengalami perubahan bentuk tanpa menimbulkan retak. Untuk mencapai karakteristik tersebut, diperlukan penentuan kadar aspal yang sesuai atau optimum dalam desain campuran. Salah satu metode yang umum digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum adalah metode Marshall.

2.5. Penentuan Kadar Aspal Optimum

Penentuan kadar aspal optimum bisa dilakukan dengan memvariasikan kadar aspal. Beberapa parameter campuran yang dianjurkan oleh Bina Marga untuk dipenuhi dalam penentuan kadar aspal optimum adalah stabilitas, keelehan, Marshall Quotient, rongga udara dalam campuran, dan rongga antarmaterial agregat.

2.6. Benda Uji dengan Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal yang seragam digunakan untuk membuat benda uji, yaitu kadar aspal optimum yang telah diperoleh dari pengujian sebelumnya. Benda uji dibuat sebanyak 6 set untuk pengujian dengan variasi lama perendaman untuk setiap set benda uji, di mana masing-masing set terdiri dari 3 buah benda uji. Jumlah rencana benda uji yang dibutuhkan dalam penelitian ini ditampilkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Jumlah Benda Uji pada Modifikasi Perendaman Marshall

Durasi Perendaman	Jumlah Benda Uji
0	3
1	3
3	3
7	3
14	3
17	3

Total benda uji	18
------------------------	-----------

2.7. Perendaman Benda Uji dengan Variasi Waktu

Sesuai dengan prosedur untuk pengujian indeks durabilitas, perendaman dilakukan pada 6 variasi waktu perendaman, yaitu perendaman 0 hari, 1 hari, 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 17 hari. Perendaman dilakukan di dalam water bath pada suhu 60 °C (Craus, 1981).

2.8. Pengujian Benda Uji

Setelah dilakukan perendaman terhadap benda uji dengan lama rendaman 0, 1, 3, 7, 14, dan 17 hari pada suhu 60 °C, selanjutnya diuji dengan alat Marshall yang menghasilkan nilai stabilitas, kelelahan, Marshall Quotient, rongga dalam campuran, dan rongga antarmineral agregat (PUPR, 2003).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pemeriksaan Agregat

Tabel 2 menampilkan hasil pemeriksaan yang menunjukkan agregat tersebut layak digunakan sebagai bahan perkerasan konstruksi jalan.

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Agregat

Jenis Pemeriksaan	Metode	Nilai
Berat Jenis Agregat Kasar		
a. Berat Jenis Bulk	SNI 1969-2008	2.4108
b. Penyerapan Air	SNI 1969-2008	1.7
Berat Jenis Agregat Halus		
a. Berat Jenis Bulk	SNI 1970-2008	2.5183
b. Penyerapan Air	SNI 1970-2008	3.9501
Berat Volume Cara Penggoyangan	SNI 1970-1990	1.559
Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	SNI 2439-1991	97
Kausan dengan Mesin Los Angeles	SNI 2417: 2008	19.58
Kekuatan Agregat Terhadap Tumbukan	SNI 03-4426-1997	8.46

3.2. Pemeriksaan Aspal

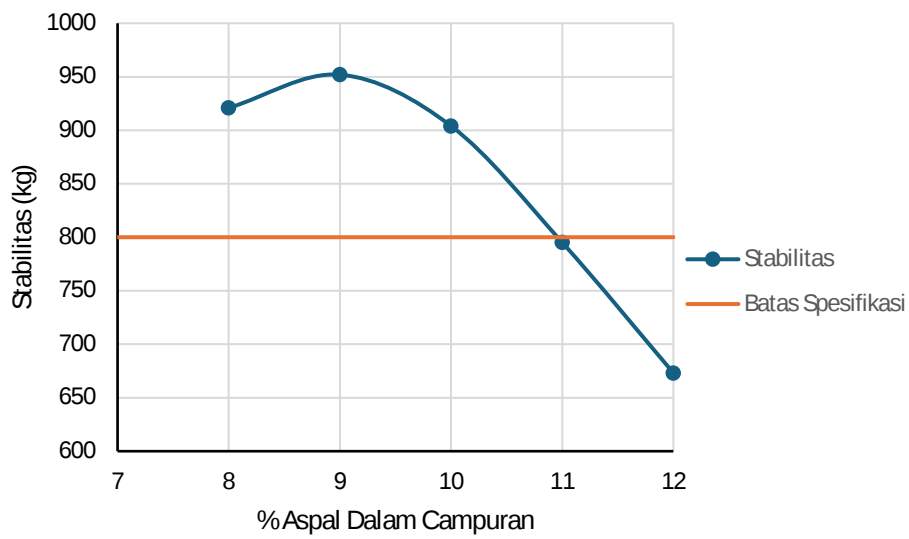
Dari hasil pemeriksaan penetrasi aspal 60/70 diperoleh karakteristik aspal yang sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan oleh Dirjen Bina Marga. **Tabel 3** memperlihatkan hasil pemeriksaan aspal..

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Aspal

Jenis Pemeriksaan	Metode	Nilai
Kehilangan Berat Aspal	SNI 06-2440-1991	0.228
Titik Nyala	SNI 06-2433-1991	263
Titik Bakar	SNI 06-2433-1991	316
Berat Jenis Aspal	SNI 06-2441-1991	1.03
Kelekatan Aspal pada Batuan	SNI 06-2439-1991	97
Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	49

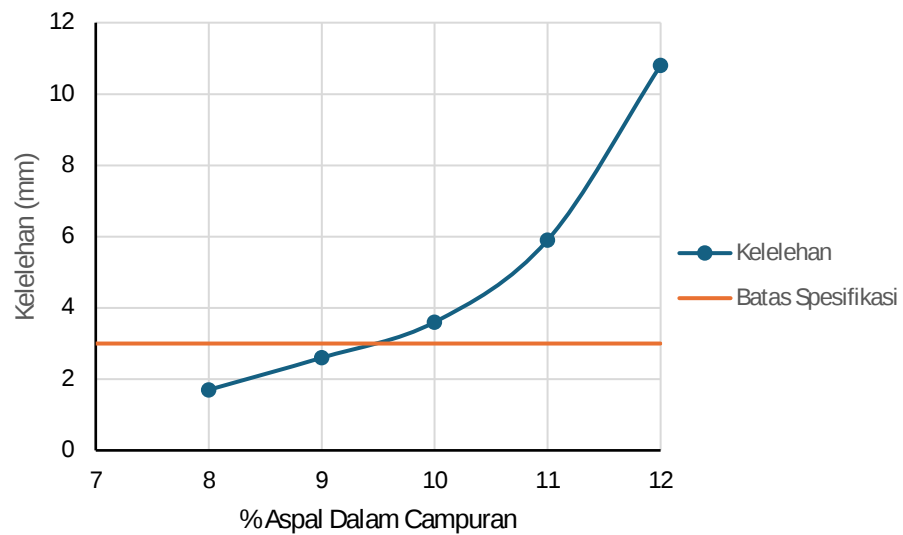
3.3. Grafik hasil pengujian Marshall Pada Campuran

Hasil pengujian stabilitas terhadap persen aspal disajikan pada **Gambar 1**.



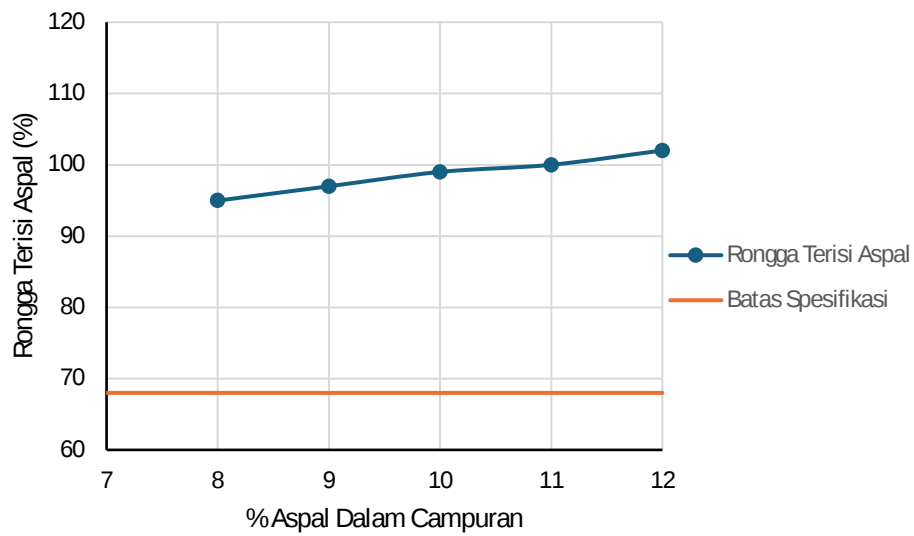
Gambar 1. Stabilitas dan % Aspal Dalam Campuran

Hasil pengujian kelelehan terhadap persen aspal disajikan pada **Gambar 2**.



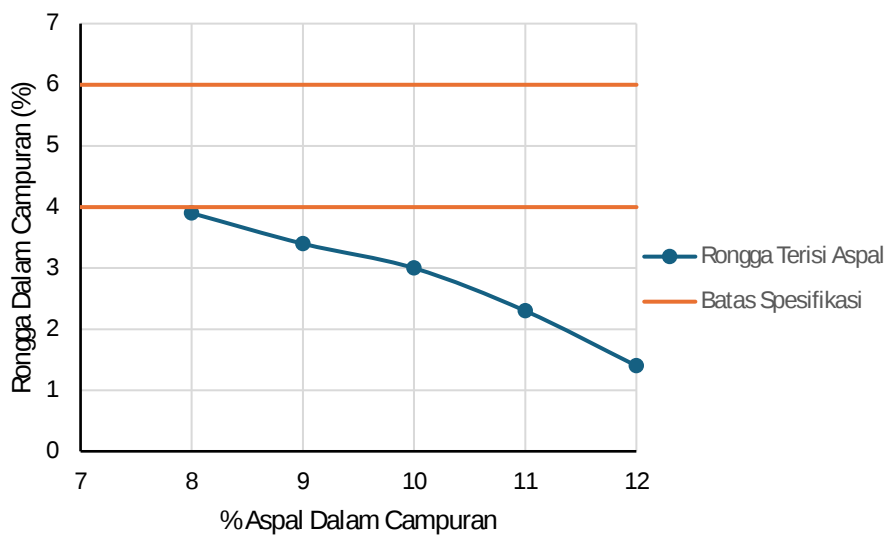
Gambar 2. Kelelehan dan % Aspal Dalam Campuran

Hasil pengujian rongga terisi aspal terhadap persen aspal disajikan pada **Gambar 3**.



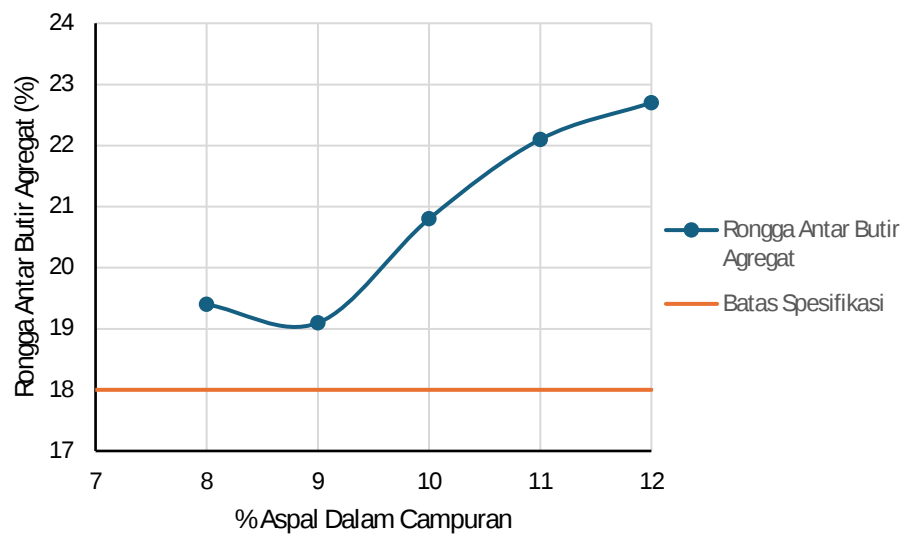
Gambar 3. Rongga Terisi Aspal dan % Aspal Dalam Campuran

Hasil pengujian rongga dalam campuran terhadap persen aspal disajikan pada **Gambar 4**.



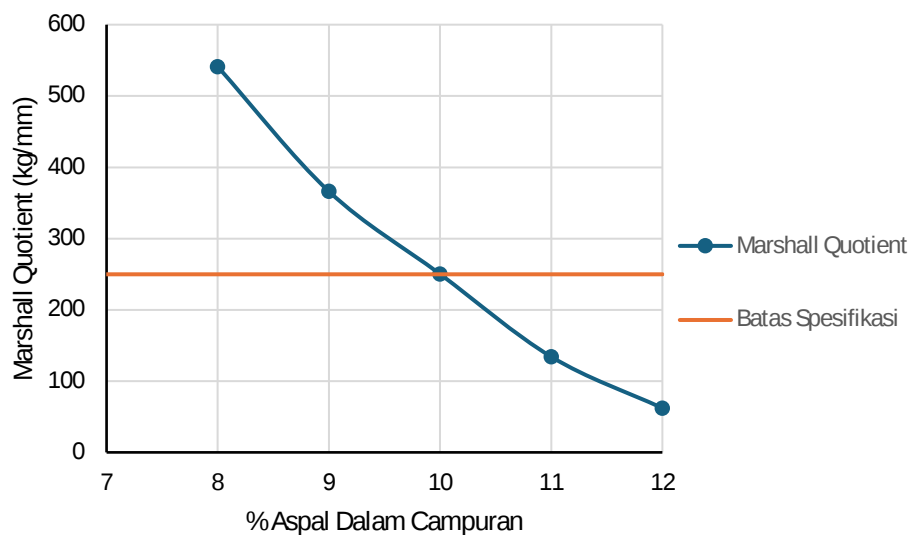
Gambar 4. Rongga Dalam Campuran dan % Aspal Dalam Campuran

Hasil pengujian rongga antar butir agregat terhadap persen aspal disajikan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Rongga Antar Butir Agregat dan % Aspal Dalam Campuran

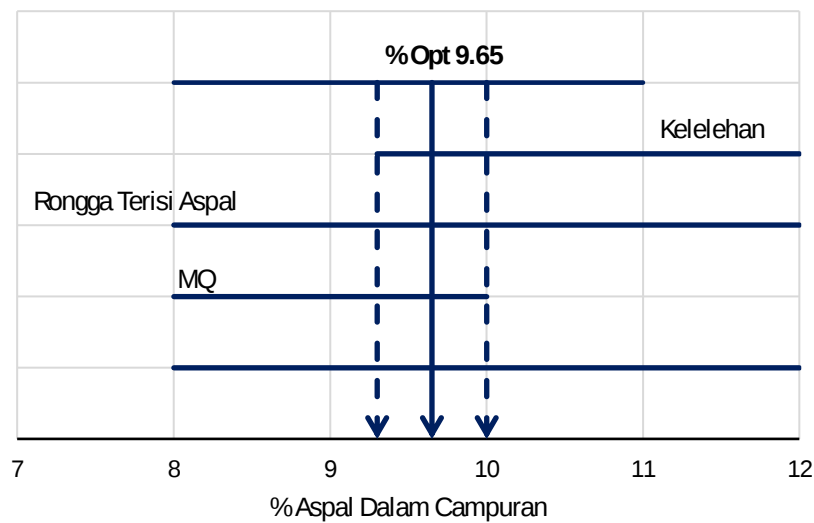
Hasil pengujian Marshall Quotient terhadap persen aspal disajikan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Marshall Quotient dan % Aspal Dalam Campuran

3.4. Kadar Aspal Optimum

Penggabungan grafik stabilitas, kelelahan, VIM, VMA, VFB dan MQ menghasilkan nilai kadar aspal optimum yang disajikan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Penentuan Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan garis terbanyak yang memenuhi spesifikasi, diperoleh kadar aspal optimum campuran sebesar 9,65 %. Nilai ini digunakan untuk membuat benda uji pada pengujian Marshall Immersion dengan memvariasikan perendaman pada water bath.

3.5. Analisis Hubungan Waktu Perendaman Terhadap Parameter Marshall

Dengan alat uji Marshall, diperoleh nilai stabilitas, kelelehan, dan Marshall Quotient yang menunjukkan perubahan nilai terhadap variasi lama waktu perendaman.

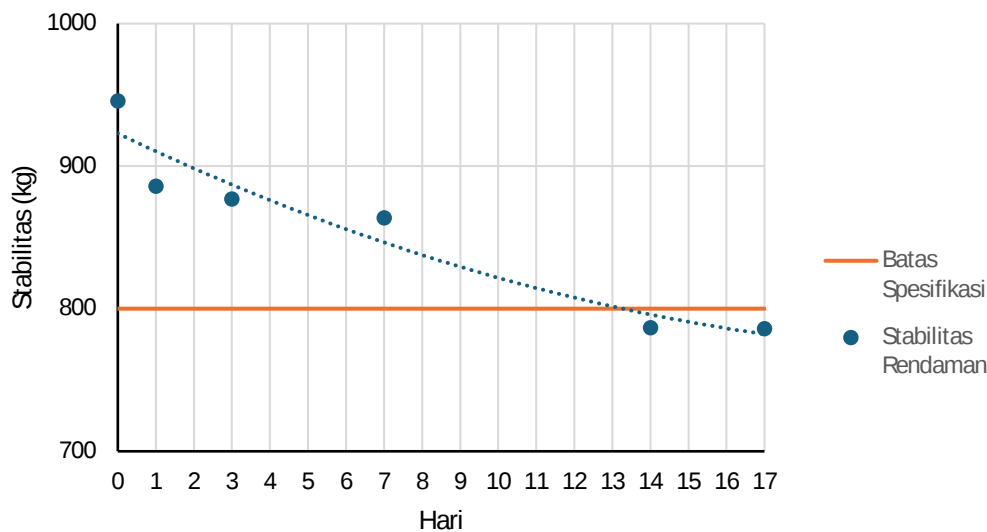
3.5.1. Stabilitas

Hasil pengujian terhadap perendaman di dalam waterbath, menunjukkan terjadi pergeseran nilai stabilitas seperti yang terlihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Nilai Stabilitas Akibat Perendaman

Pengujian	Stabilitas (kg) dengan Perendaman (Hari)					
	0	1	3	7	14	17
1	900.17	917.20	859.87	882.80	744.28	807.34
2	990.07	892.14	884.27	802.55	858.86	727.64
3	946.93	848.41	887.08	905.73	756.69	822.91
Rata-rata	945.72	885.91	877.07	863.69	786.61	785.96

Dari **Gambar 8** hasil pengujian perendaman menunjukkan nilai stabilitas campuran menurun seiring bertambahnya lama rendaman. Di mana syarat stabilitas campuran HRS-WC ≥ 800 kg.



Gambar 8. Stabilitas dan Waktu Perendaman

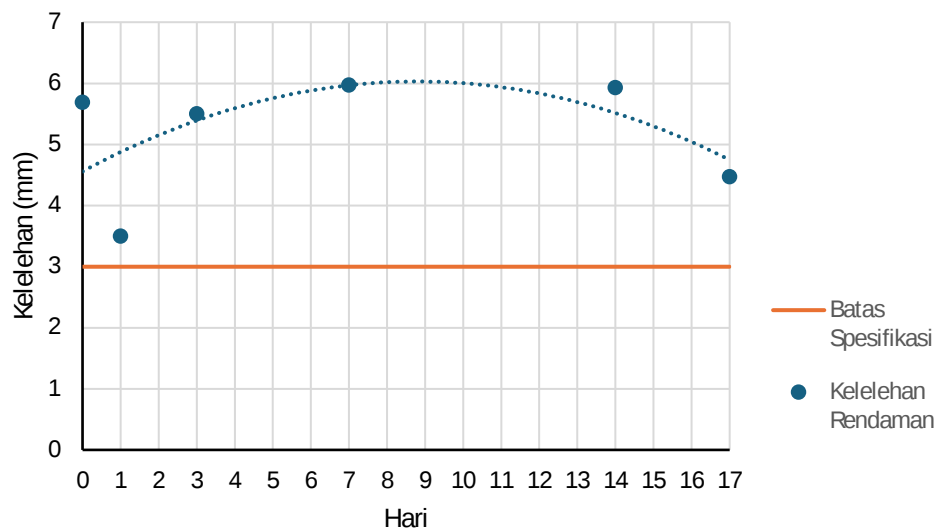
3.5.2. Kelelehan

Hasil pengujian benda uji terhadap nilai kelelehan dengan variasi waktu mengalami peningkatan yang disajikan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Nilai Kelelehan Akibat Perendaman

Pengujian	Kelelehan (mm) dengan Perendaman (Hari)					
	0	1	3	7	14	17
1	5.48	3.25	5.2	5.4	5	5
2	5.5	3	6	6	6.1	4.6
3	6.08	4.25	5.3	6.5	6.7	3.8
Rata-rata	5.69	3.5	5.5	5.97	5.93	4.47

Gambar 9 memperlihatkan terjadi kenaikan nilai kelelehan terhadap waktu perendaman dan turun saat perendaman hari ke-14. Nilai kelelehan tersebut masih dalam batas syarat untuk HRS-WC, yaitu ≥ 3 mm.



Gambar 9. Kelelahan dan Waktu Perendaman

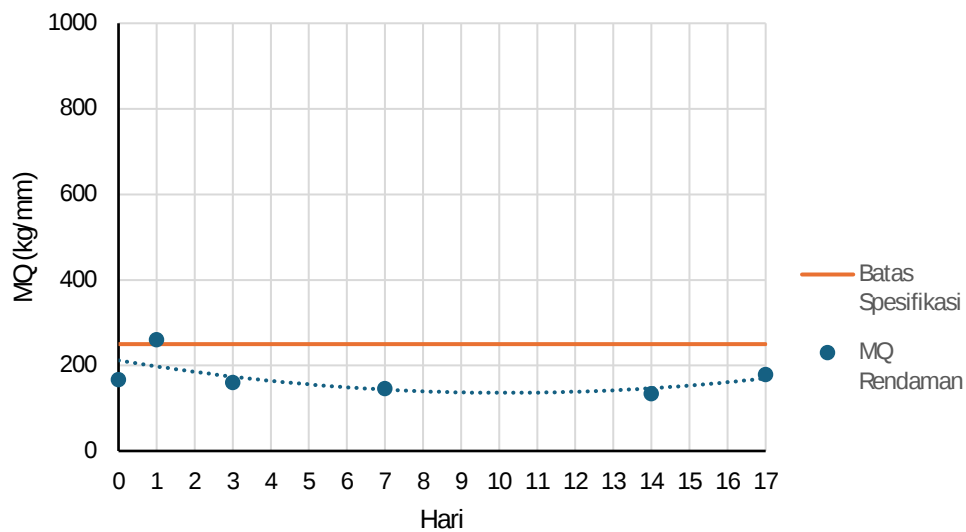
3.5.3. Marshall Quotient (MQ)

MQ merupakan hasil bagi antara nilai stabilitas dengan kelelahan yang dinyatakan dalam kg/mm, yang digunakan sebagai indikator kekakuan/kelenturan perkerasan terhadap beban yang potensial terhadap terjadinya keretakan. Campuran dengan nilai MQ yang relatif tinggi, potensial terhadap keretakan disebabkan stabilitas yang tinggi tidak diiringi oleh kelelahan yang tinggi pula. Dari hasil pengujian terhadap perendaman, terjadi pergeseran nilai MQ yang ditampilkan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Nilai MQ Akibat Perendaman

Pengujian	MQ (kg/mm) dengan Perendaman (Hari)					
	0	1	3	7	14	17
1	164.26	282.22	165.36	163.48	148.86	161.47
2	180.01	297.38	147.37	133.76	140.80	158.18
3	155.75	199.63	167.37	139.34	112.94	216.55
Rata-rata	166.67	259,74	160.03	145.53	134.20	178.74

Dari **Gambar 10** terlihat nilai MQ menurun seiring bertambahnya lama rendaman. Penurunan nilai MQ ini seiring dengan besarnya perubahan yang terjadi pada nilai stabilitas. Hal ini mengindikasikan bahwa akibat adanya perendaman, campuran mengalami kehilangan kekakuan yang cukup besar, atau dengan kata lain, campuran menjadi lebih lembek. Hal ini juga disebabkan saat terjadinya penurunan stabilitas yang cukup besar, di saat bersamaan juga terjadi peningkatan nilai kelelahan. Penurunan nilai MQ pada campuran yang telah diuji terlihat berdasarkan variasi rendaman, yang memenuhi persyaratan nilai MQ untuk lapis HRS-WC hanya pada umur 1 hari. Persyaratan nilai MQ HRS-WC adalah ≥ 250 kg/mm.



Gambar 10. MQ dan Waktu Perendaman

3.6. Indeks Durabilitas Campuran Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)

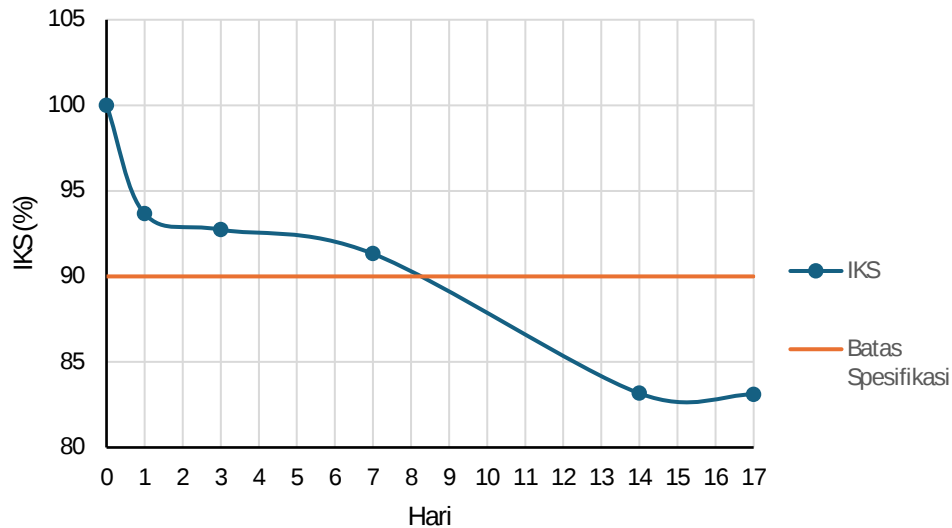
Parameter berupa Indeks Kekuatan Sisa (IKS) dihitung untuk mengetahui potensi durabilitas yang diakibatkan oleh perendaman. IKS ini digunakan untuk mendapatkan Indeks Durabilitas Pertama (IDP) dan Indeks Durabilitas Kedua (IDK).

3.6.1. Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Indeks kekuatan sisa (IKS) diperoleh dari perbandingan nilai stabilitas yang direndam dengan waktu T1 dan nilai stabilitas yang direndam dalam waktu T2. Nilai IKS hasil pengujian campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC) ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Indek Kekuatan Sisa			
Durasi Rendaman (Hari)	Stabilitas (kg)	Stabilitas Rata-rata (kg)	Indeks Kekuatan Sisa IKS (%)
0	900.17	945.72	100
	990.07		
	946.93		
1	917.20	885.91	93.67
	892.14		
	848.41		
3	859.87	877.07	92.74
	884.27		
	887.08		
7	882.80	863.69	91.33
	802.55		
	905.73		
14	744.28	786.61	83,17
	858.86		
	756,69		
17	807.34	785.96	83.11
	727.64		
	822.91		

Hasil pengujian menunjukkan nilai IKS mengalami penurunan. Pada **Gambar 11**, dapat dilihat bahwa nilai IKS memenuhi standar yang ditetapkan oleh Bina Marga, yaitu 90 % , hanya sampai hari ke-8. Nilai IKS berkurang seiring bertambahnya waktu perendaman.



Gambar 11. IKS dan Waktu Perendaman

3.6.2. Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Hasil indeks durabilitas pertama dapat dilihat pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Indeks Durabilitas Pertama

Durasi Rendaman	IKS (%)	$S_i - S_{i+1}$	$t_i - t_{i+1}$	$r\% = \frac{S_i - S_{i+1}}{t_i - t_{i+1}}$	
0 Hari (1/2 Jam)	100	-	-	-	-
1 Hari (24 Jam)	93.67	6.33	23.5	0.269	0.269
3 Hari (72 Jam)	92.74	0.93	48	0.019	0.288
7 Hari (168 jam)	91.33	1.41	96	0.015	0.303
14 Hari (336 Jam)	83.17	8.16	168	0.049	0.352
17 Hari (408 Jam)	83.11	0.06	72	0.001	0.353
Σ				0.353	

Nilai 'r' bernilai positif, yaitu 0,353%, ini mengindikasikan kehilangan kekuatan.

3.6.3. Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Indeks durabilitas pertama didefinisikan sebagai jumlah kelandaian yang berurutan pada kurva keawetan. Nilai indeks penurunan stabilitas 'r' yang positif mengindikasikan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai 'r' negatif mengindikasikan adanya perolehan kekuatan.

Hasil indeks durabilitas kedua dapat dilihat pada **Tabel 9**.

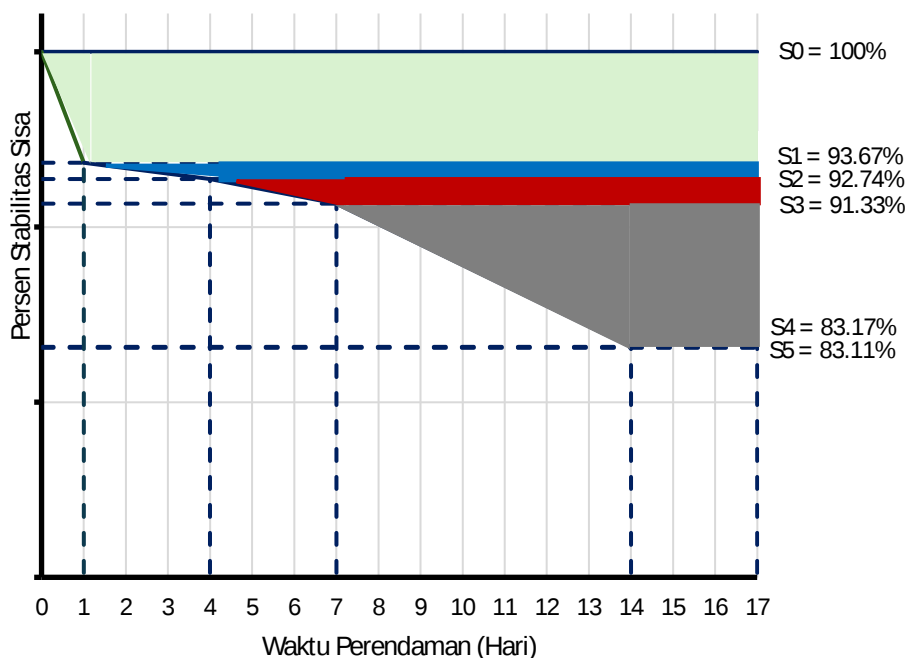
Tabel 9. Indeks Durabilitas Kedua

Durasi Rendaman	IKS (%)	$S_i - S_{i+1}$ a	$t_i + t_{i+1}$ b	$2t_n - b$ c	$a = [1/(2t_n)] \cdot a \cdot c$ d	$S_a = 100 - d$ Kumuatif	
0 Hari (1/2 Jam)	100	-	-	-	0	-	100
1 Hari (24 Jam)	93.67	6.33	24.5	791.5	6.134	6.134	93.866
3 Hari (72 Jam)	92.74	0.93	96	720	0.821	6.955	99.179
7 Hari (168 jam)	91.33	1.41	240	576	0.995	7.950	99.005
14 Hari (336 Jam)	83.17	8.16	504	312	0.049	7.999	99.951
17 Hari (408 Jam)	83.11	0.06	744	72	0.005	8.004	99.995
Σ					8.004		

Indeks durabilitas ini menggambarkan kehilangan kekuatan dalam satu hari. Jadi, pada penelitian ini IDK mengalami kehilangan kekuatan sebesar 8,004%.

3.6.4. Kurva Keawetan

Dari hasil penelitian yang dilakukan maka didapatkan kurva keawetan seperti **Gambar 12**. Hubungan stabilitas sisa dengan waktu perendaman digambarkan oleh kurva keawetan. Dengan bertambahnya waktu perendaman, nilai stabilitas sisa menurun. Dikarenakan nilai stabilitas sisa turun, durabilitas campuran juga akan menurun pada lama perendamannya. Kurva keawetan hasil penelitian ini memperlihatkan kesamaan dengan penelitian Craus (1981), di mana durabilitas campuran aspal menurun seiring lamanya durasi waktu perendaman.

**Gambar 12.** Kurva Keawetan

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian disimpulkan nilai stabilitas campuran HRS-WC menurun seiring dengan bertambahnya durasi rendaman, namun nilai kelelahan mengalami peningkatan. Nilai durabilitas campuran HRS-WC masih memenuhi standar Bina Marga sampai hari ke-8, yaitu $\geq 90\%$. 3. Nilai IKS menurun seiring lamanya hari perendaman, di mana pada 1 hari perendaman sebesar 93,68%, pada 3 hari perendaman sebesar 92,74%, pada 7 hari perendaman sebesar 91,33%, pada 14 hari perendaman sebesar 83,18%, pada 17 hari perendaman sebesar 83,11%. Besar nilai IDP diperoleh 0,353% dan nilai IDK diperoleh 8,004 %. Hasil nilai IDP dan IDK positif menunjukkan adanya kehilangan kekuatan pada campuran tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Adly, E. (2021). Pengaruh Rendaman Air Laut Pasang Surut terhadap Campuran Lapis Aspal Beton AC-WC dengan Modifikasi Steel Slag Ramah Lingkungan. *Bulletin of Civil Engineering*, 1(2), 87–92. <https://doi.org/10.18196/bce.v1i2.11060>
- Aminsyah, M. (2025). Pengaruh Penambahan Fiber Selulosa CF-31500 Terhadap Durabilitas Campuran AC-BC: Studi Eksperimental Berbasis Indeks Kekuatan Sisa. *Jurnal Bangunan, Konstruksi & Desain*, 3(2), 47–56. <https://doi.org/10.25077/jbkd.3.2.47-56.2025>
- Craus, J. (1981). Durability of Bituminous Paving Mixtures as Related to Filler Type and Properties. *Proceedings Association of Asphalt Paving Technologist Technical Sessions*.
- Dirjen Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*. Kementerian PUPR.
- Kementrian PUPR. (2024). *Manual Desain Perkerasan Jalan*. Dirjen Bina Marga.
- Lavin, P. G. (2003). *Asphalt Pavement*. Taylor & Francis.
- LTJR. (2008). *Petunjuk Pelaksanaan Praktikum Bahan Perkerasan Jalan Raya*. Laboratorium Transportasi Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil Universitas Andalas.
- PUPR. (2003). *Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall*. Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Siswosoebroto, B. I., Oktarizal, B., & Syukri. (1999). Pengaruh Air Asin terhadap Durabilitas Campuran Aspal Beton. *Symposium Nasional FSTPT Ke-2*.
- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Granit.
- Sukirman, S. (2010). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Nova.