



Kajian Hubungan Nilai Void terhadap Umur Rencana Perkerasan Jalan pada Campuran AC-WC dengan Variasi Perendaman Menggunakan Air Hujan

Sahriyal^{1*}, Erny², Nedra Neswita³, Riza Pahlipi⁴
¹⁻⁴Institut Teknologi dan Bisnis Indragiri, Indonesia

*Penulis Korespondensi : sahriyal047@gmail.com

Abstract : The performance of Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) is greatly influenced by the characteristics of the mixture, one of which is the void value which plays a role in stability, durability, and resistance to damage. Rainwater is the most dominant environmental factor accelerating pavement damage through stripping mechanisms, bond release, and a decrease in the structural strength of the layer. Therefore, it is necessary to conduct a study on changes in void value with soaking duration, the relationship of void value to the design life of the road pavement, and an empirical model of the design life based on void value with variations in soaking in the mixture using a laboratory test approach. Based on the results of laboratory tests, it can be seen that changes in void values due to variations in soaking time using rainwater indicate that the longer the mixture is soaked, the changes in VIM and VMA values tend to decrease, while VFA increases. The relationship between VIM values and the design life of road pavements in AC-WC layers due to soaking variations shows that the design life decreases sharply when the VIM value is <3%. Thus, long-term immersion can reduce the road life by more than 35% of its ideal design life and based on a simple empirical model equation to estimate the design life of the pavement based on the void value and immersion conditions, $N_0 = 12.5$ years is obtained (Ideal mix design life at VIM = 4%).

Keywords: AC-WC, Bina Marga 2028 Revision 2, Design Age, VFA, Void.

Abstrak: Kinerja Aspal Beton – Lapisan Aus (AC-WC) sangat dipengaruhi oleh karakteristik campuran, salah satunya adalah nilai rongga yang berperan dalam stabilitas, daya tahan, dan ketahanan terhadap kerusakan. Air hujan merupakan faktor lingkungan yang paling dominan yang mempercepat kerusakan perkerasan melalui mekanisme pengelupasan, pelepasan ikatan, dan penurunan kekuatan struktural lapisan. Variasi perendaman menggunakan air hujan secara signifikan memengaruhi nilai rongga dan umur desain perkerasan jalan. Oleh karena itu, perlu dilakukan studi tentang perubahan nilai rongga dengan durasi perendaman, hubungan nilai rongga dengan umur desain perkerasan jalan, dan model empiris umur desain berdasarkan nilai rongga dengan variasi perendaman dalam campuran menggunakan pendekatan uji laboratorium. Berdasarkan hasil uji laboratorium, dapat dilihat bahwa perubahan nilai rongga akibat variasi waktu perendaman menggunakan air hujan menunjukkan bahwa semakin lama campuran direndam, perubahan nilai VIM dan VMA cenderung menurun, sedangkan VFA meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa perendaman menyebabkan air meresap ke dalam struktur pori campuran, sehingga mengurangi volume rongga udara, yang mengakibatkan penurunan daya ikat (adhesi) antara aspal dan agregat. Hubungan antara nilai VIM dan umur desain perkerasan jalan pada lapisan AC-WC akibat variasi perendaman menunjukkan bahwa umur desain menurun tajam ketika nilai VIM <3%. Dengan demikian, perendaman jangka panjang dapat mengurangi umur jalan lebih dari 35% dari umur desain idealnya dan berdasarkan persamaan model empiris sederhana untuk memperkirakan umur desain perkerasan berdasarkan nilai rongga dan kondisi perendaman, diperoleh $N_0 = 12,5$ tahun (umur desain campuran ideal pada VIM = 4%).

Kata kunci: AC-WC, Bina Marga 2028 Revisi 2, Rongga, Umur Desain, VFA.

1. LATAR BELAKANG

Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) merupakan lapisan aus yang kinerjanya sangat dipengaruhi oleh karakteristik campuran, salah satunya nilai rongga (void) yang berperan dalam stabilitas, durabilitas, dan ketahanan terhadap kerusakan akibat lingkungan.

Void yang terlalu besar mempermudah penetrasi air, sedangkan void terlalu kecil menurunkan ruang untuk ekspansi aspal dan berpotensi menyebabkan *bleeding*.

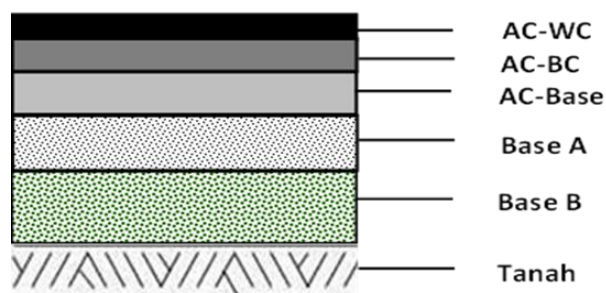
Kondisi iklim tropis, air hujan menjadi faktor lingkungan paling dominan yang mempercepat kerusakan perkerasan melalui mekanisme *stripping*, pelepasan ikatan aspal-agregat, serta penurunan kekuatan struktural lapisan. Pemahaman mengenai bagaimana variasi perendaman oleh air hujan mempengaruhi nilai void dan umur rencana perkerasan menjadi sangat penting dalam upaya meningkatkan kualitas desain campuran AC-WC serta ketahanannya terhadap kondisi lingkungan.

Sejauh ini, penelitian tentang pengaruh air terhadap campuran beraspal lebih banyak menggunakan air laboratorium dengan kualitas seragam. Namun, air hujan memiliki karakteristik kimia dan pH yang berbeda berpotensi lebih asam yang dapat mempercepat proses kerusakan. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian mengenai hubungan nilai void terhadap umur rencana perkerasan jalan pada campuran AC-WC akibat variasi perendaman menggunakan air hujan. Kajian ini diharapkan dapat memberikan gambaran kuantitatif dan kualitatif bagaimana perubahan nilai void mempengaruhi daya tahan perkerasan terhadap kondisi perendaman jangka panjang

2. KAJIAN TEORITIS

Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah lapisan perkerasan yang berada di antara lapisan tanah dan roda kendaraan, yang berfungsi untuk memberikan pelayanan kepada sarana transportasi. Menopang beban lalu lintas secara aman, nyaman, dan tidak mengalami kerusakan yang besar sebelum umur rencana adalah fungsi dari perkerasan. Perkerasan yang dibuat berlapis-lapis bertujuan untuk memberikan keawetan yang memadai, ketahanan dan ekonomis. Lapisan paling atas atau lapis permukaan adalah lapisan yang paling baik mutunya. Di bawah lapis permukaan terdapat lapisan yang disebut lapis fondasi, yang dimana diletakan di atas tanah dasar yang sudah dipadatkan. Bisa dilihat pada Gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 1. Struktur Lapisan Perkerasan Jalan Lentur.

Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)

AC-WC adalah lapisan aus pada perkerasan lentur yang memiliki fungsi struktural sekaligus pelindung terhadap lapisan di bawahnya. Campuran AC-WC terdiri dari agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi (filler), dan aspal sebagai pengikat. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga (2018), campuran ini harus memenuhi parameter karakteristik Marshall seperti stabilitas, flow, VIM, VMA, dan VFA agar mampu menahan beban lalu lintas serta kondisi lingkungan. Nilai void yang optimal sangat penting untuk menghindari bleeding, ravelling, serta meminimalkan penetrasi air.

Nilai Void dalam Campuran Aspal

Terdapat tiga tipe rongga (voids) dalam campuran beraspal :

1. *Voids in Mineral Aggregate (VMA)* : Volume rongga dalam agregat sebelum diisi aspal.
2. *Voids Filled with Asphalt (VFA)* : Persentase rongga agregat terisi aspal.
3. *Air Voids (Va)* : Rongga udara yang tersisa dalam campuran setelah dipadatkan.

Nilai Air Voids (Va) merupakan indikator utama durabilitas. Va yang terlalu tinggi mempermudah masuknya air dan udara, mempercepat oksidasi dan stripping. Va yang terlalu rendah mengakibatkan bleeding dan menurunkan tekstur permukaan. Kadar rongga ideal AC-WC biasanya berkisar 3–5%.

Nilai void berkaitan langsung dengan kepadatan campuran, kualitas pemadatan, dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan.

Pengaruh Air terhadap Campuran Beraspal

Air merupakan salah satu faktor penyebab kerusakan utama perkerasan lentur melalui :

1. Kerusakan *Stripping*

Stripping terjadi pada kondisi air mengisi rongga dan menyebabkan hilangnya ikatan aspal–agregat. Proses ini dipengaruhi oleh pH air, tekanan air akibat beban lalu lintas, serta besarnya nilai void.

2. Penurunan Kekuatan Mekanis

Air dapat menurunkan nilai stabilitas Marshall, ITS (Indirect Tensile Strength), resilient modulus, dan parameter kekuatan lainnya. Penurunan ini semakin besar jika rongga udara tinggi.

3. Percepatan Degradasi Umur Rencana

Kehilangan kekuatan struktural akibat air menyebabkan umur rencana menurun karena campuran lebih cepat mencapai kondisi kerusakan seperti retak kelelahan dan deformasi permanen.

Air Hujan sebagai Media Perendaman

Berbeda dengan air laboratorium, air hujan memiliki karakteristik :

1. pH cenderung asam (4.5–6.0) akibat kandungan sulfur dan nitrogen di atmosfer,
2. Mengandung mineral atau partikel polutan,
3. Memiliki kemampuan lebih agresif terhadap aspal.

Keasaman air hujan meningkatkan potensi pelemahan adhesi antara aspal dan agregat. Oleh karena itu, perendaman menggunakan air hujan memberikan hasil yang lebih representatif terhadap kondisi lapangan terutama di daerah tropis seperti Indonesia.

Durabilitas Campuran Aspal dan Pengujian Perendaman

Durabilitas merupakan kemampuan campuran mempertahankan sifat mekanisnya terhadap efek air, suhu, dan beban. Pengujian durabilitas terkait perendaman meliputi :

1. *Marshall Immersion* – menilai penurunan stabilitas setelah perendaman 24–48 jam.
2. *Indirect Tensile Strength (ITS) Wet–Dry* – menghitung indeks ketahanan terhadap kelembaban (TSR).
3. *Modulus Resilien* – melihat perubahan modulus akibat perendaman.

Durabilitas berkaitan erat dengan nilai void. Void lebih besar → lebih banyak air masuk → penurunan durabilitas lebih cepat.

Hubungan Nilai Void terhadap Umur Rencana Perkerasan

Nilai void (V_a) mempengaruhi umur rencana perkerasan jalan melalui mekanisme berikut :

1. Void tinggi → meningkatkan permeabilitas sehingga air lebih mudah masuk, mempercepat stripping dan retak.
2. Void rendah → *bleeding* sehingga lapisan kehilangan tekstur dan mengurangi keselamatan serta kenyamanan jalan.
3. Perubahan void akibat perendaman mempercepat penurunan modulus, stabilitas, dan tegangan tarik.
4. Parameter umur rencana seperti *fatigue life* (N_f) dan *rutting life* (N_d) menurun seiring degradasi kekuatan yang dipengaruhi nilai void.

Dengan demikian, hubungan nilai void dan umur rencana bersifat langsung dan signifikan, terutama dalam kondisi perendaman.

Pengaruh Nilai Void terhadap Kinerja Campuran

Nilai void sangat menentukan sifat fisik dan mekanik dari campuran aspal. Jika VIM terlalu kecil, campuran menjadi padat dan aspal berpotensi keluar ke permukaan (*bleeding*). Kondisi ini mengurangi daya gesek jalan dan mempercepat kerusakan. Sebaliknya, jika VIM

terlalu besar, air dan udara mudah masuk ke rongga, menyebabkan proses oksidasi aspal lebih cepat dan mengakibatkan retak (cracking).

Nilai VMA yang rendah menunjukkan agregat terlalu rapat sehingga tidak cukup ruang bagi aspal untuk melapisi agregat dengan baik, menyebabkan ikatan aspal-agregat melemah. Sedangkan VFA yang terlalu tinggi menandakan campuran terlalu jenuh oleh aspal, sehingga kehilangan elastisitas dan menurunkan stabilitas terhadap beban berulang.

Umur Rencana Perkerasan Jalan

Umur rencana adalah jangka waktu perkerasan dapat melayani lalu lintas dengan kinerja baik. Secara empiris, hubungan Voids in Mix (VIM) terhadap umur rencana sangatlah krusial, di mana VIM yang optimal (biasanya berkisar 3% hingga 5%) menjamin fleksibilitas dan ketahanan perkerasan terhadap deformasi plastis (alur) serta retak fatik. Namun, VIM yang terlalu tinggi (misalnya 7%) mempercepat proses penuaan dan oksidasi aspal serta mempermudah penetrasi air, sehingga secara drastis memperpendek umur rencana akibat pengelupasan (stripping) dan retak dini. Sebaliknya, VIM yang terlalu rendah (misalnya <3%) menyebabkan perkerasan menjadi terlalu kaku atau mudah mengalami bleeding (aspal naik ke permukaan), yang juga menurunkan kinerja dan umur layanan jalan. Oleh karena itu, pengendalian VIM adalah kunci utama dalam mencapai umur rencana yang ditetapkan. Umur rencana diringkas pada Tabel 1, sebagai berikut.

Tabel 1. Umur Rencana Desain Perkerasan Jalan.

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (Tahun)
Perkerasan lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir	20
	Fondasi jalan	40
	Semua perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (overlay), seperti jalan perkotaan, underpass, jembatan, terowongan	
	<i>Cement Treated Base (CTB)</i>	
Perkerasan kaku	Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen, dan fondasi jalan	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan)	Minimum 10

Sumber :Manual Desain Perkerasan Jalan nomor 02/M/BM/2017

Hubungan VIM terhadap umur rencana dapat diformulasikan dengan rumus :

$$N = N_0 (1 - k (VIM_{ideal} - VIM))$$

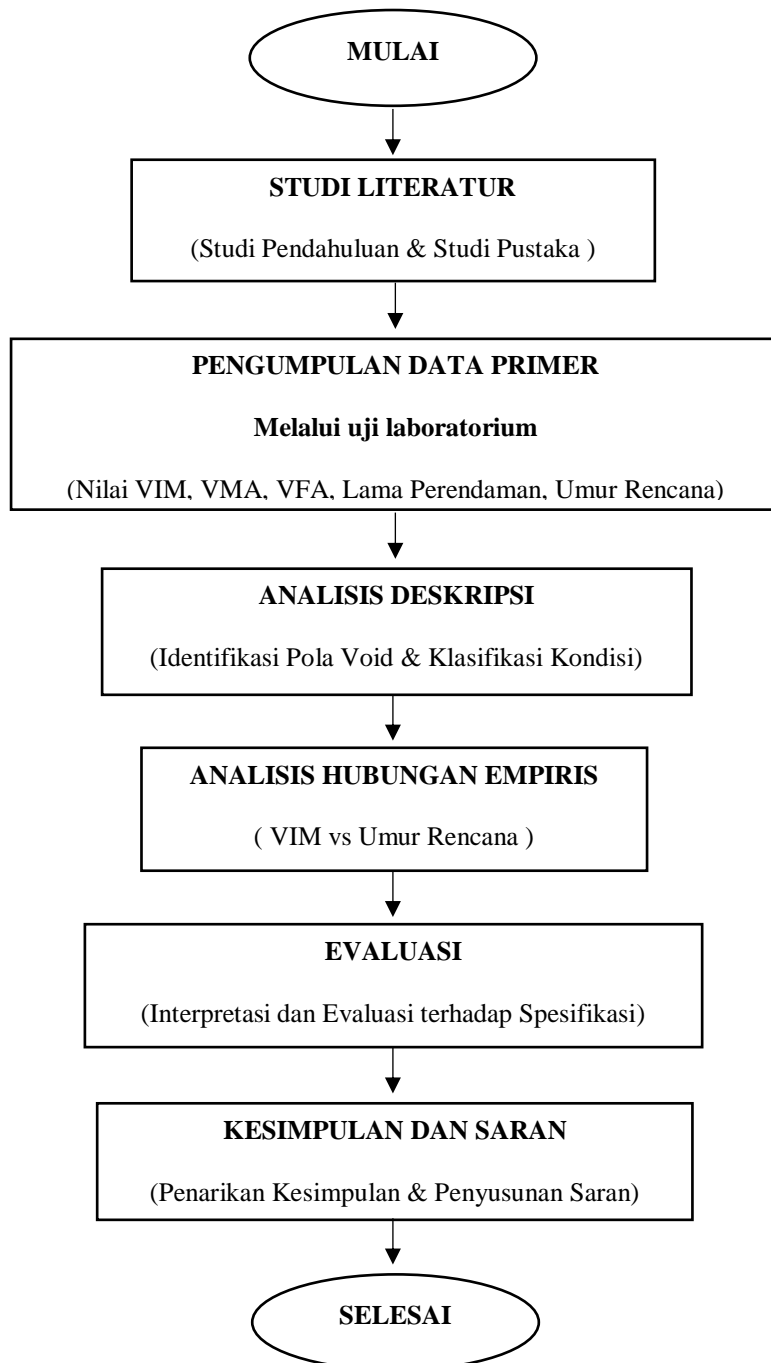
Dengan :

N_0 : umur ideal (tahun)

k : konstanta empiris ($\approx 0,35$)

3. METODE PENELITIAN

Flowchart Penelitian



Gambar 2. Flowcart Penelitian.

Jenis Kajian

Kajian ini merupakan hasil penelitian pengujian di laboratorium. Fokus utama penelitian diarahkan pada hubungan antara perubahan nilai void dengan umur rencana perkerasan jalan, berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan serta teori-teori pendukung dari literatur terkait. Pendekatan ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai pengaruh karakteristik volumetrik campuran aspal, khususnya nilai void, terhadap kinerja dan daya tahan perkerasan dalam jangka panjang. Dengan menganalisis data yang telah teruji secara empiris, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam bentuk interpretasi teoritis dan implikasi praktis bagi perencanaan serta pemeliharaan perkerasan jalan yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Data dan Sumber

Data dalam penelitian ini diperoleh dari hasil penelitian terdahulu yang berjudul “Pengaruh Variasi Perendaman Menggunakan Air Hujan pada Campuran Aspal Panas terhadap Nilai Karakteristik Marshall.” Penelitian tersebut digunakan sebagai acuan utama karena telah melalui tahapan pengujian laboratorium yang sistematis dan menghasilkan data empiris yang relevan dengan topik kajian ini. Pemanfaatan data dari penelitian sebelumnya dilakukan untuk memperkuat analisis tanpa perlu melakukan pengujian ulang di lapangan, sehingga penelitian ini lebih berfokus pada pengolahan, interpretasi, serta kajian mendalam terhadap hubungan antarvariabel yang telah diidentifikasi.

Dengan demikian, hasil penelitian terdahulu menjadi dasar yang valid dalam mengkaji lebih lanjut karakteristik campuran aspal, khususnya dalam memahami pengaruh variasi perendaman terhadap nilai-nilai parameter Marshall. Data meliputi :

1. Kadar Aspal Optimum (KAO) : 5,6%
2. Variasi waktu perendaman : 8 jam, 24 jam, 72 jam, 120 jam, 168 jam
3. Nilai stabilitas, flow, VIM, VMA, dan VFA

Variabel yang Dikaji

Tahapan analisis dilakukan sebagai berikut :

Tabel 2. Tahapan Analisis Kajian.

Variabel	Simbol	Satuan	Keterangan
<i>Void in Mix</i>	VIM	%	Rongga Udara dalam Campuran
<i>Void in Mineral Aggregate</i>	VMA	%	Ruang antar Agregat
<i>Void Filled with Asphalt</i>	VFA	%	Ruang Agregat terisi Aspal
Umur Rencana	N	Tahun	Umur Layanan Perkerasan

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Kajian

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama campuran Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) direndam menggunakan air hujan, maka nilai Void in Mix (VIM) dan Void in Mineral Aggregate (VMA) cenderung menurun, sedangkan Void Filled with Asphalt (VFA) mengalami peningkatan. Fenomena ini mengindikasikan bahwa proses perendaman menyebabkan air meresap ke dalam struktur pori campuran, sehingga mengurangi volume rongga udara yang semula berfungsi sebagai ruang pernapasan campuran. Kondisi tersebut berdampak pada menurunnya daya ikat (adhesi) antara aspal dan agregat akibat adanya penggantian sebagian ruang ikatan oleh air, yang berperan sebagai agen perusak (stripping agent). Akibatnya, kestabilan campuran berpotensi menurun karena berkurangnya kekuatan internal antarpartikel agregat. Secara teknis, hal ini menunjukkan bahwa ketahanan perkerasan terhadap pengaruh air sangat bergantung pada sifat kedap air campuran dan kekuatan ikatan antarfasanya, sehingga pengendalian terhadap kadar void dan kualitas perekat aspal menjadi faktor penting dalam menjaga performa jangka panjang perkerasan jalan. Bisa dilihat pada tabel 3 berikut :

Tabel 3 Hasil pengujian marshall Variasi Perendaman.

No	Durasi	Berat Jenis	VMA (%)	VI M (%)	VFA (%)	Stability (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
0	(jam)	(gram/cc)	(%)	(%)	(%)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
1	8 jam	2,284	15,55	4,25	72,67	1073	2,67	407
2	24 jam	2,288	15,41	4,10	73,42	1014	2,77	368
3	72 jam	2,293	15,20	3,86	74,62	819	3,83	214
4	120 jam	2,314	14,42	2,98	79,36	780	4,27	184
5	168 jam	2,317	14,34	2,88	79,92	761	4,43	172
Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2			Min. 15	3 - 5	Min. 65	Min. 800	2 - 4	-

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, (2025)

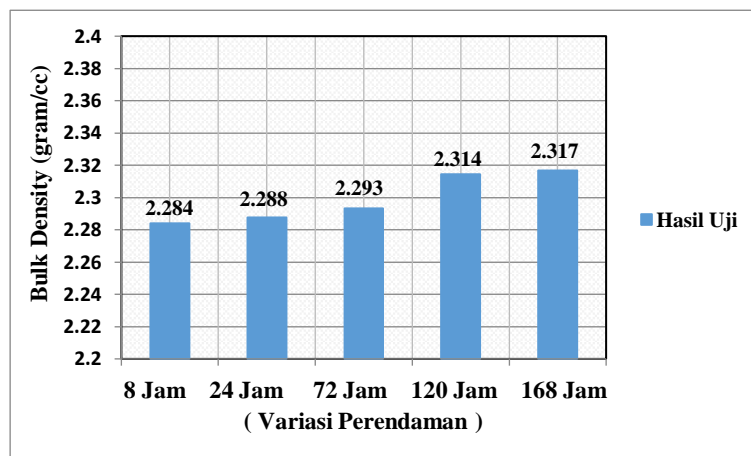
Pada perendaman 8–72 jam, nilai VIM masih berada dalam batas 3–5%, dan stabilitas campuran masih memenuhi spesifikasi ≥ 800 kg. Namun, pada perendaman 120 jam dan 168 jam, nilai VIM turun di bawah 3%, dan stabilitas menurun di bawah 800 kg. Artinya, perendaman berkepanjangan menyebabkan struktur internal campuran menjadi terlalu padat dan kehilangan fleksibilitas.

Analisis dan Pembahasan

Implikasi dari temuan tersebut menunjukkan bahwa penurunan nilai VIM dan VMA akibat perendaman air hujan berpotensi mempercepat proses degradasi struktural perkerasan, terutama pada lapisan aus (surface course) yang langsung berinteraksi dengan lingkungan. Ketika rongga udara dalam campuran berkurang secara signifikan, kemampuan lapisan perkerasan untuk mengalirkan dan menguapkan air menjadi terbatas, sehingga air lebih mudah terperangkap di dalam struktur. Kondisi jenuh air ini dapat mempercepat terjadinya kerusakan akibat kelembapan (moisture damage) seperti pengelupasan (stripping), retak kulit buaya (alligator cracking), maupun deformasi plastis (rutting). Dalam konteks umur rencana perkerasan (design life), hal tersebut berarti bahwa semakin lama campuran terpapar oleh kondisi basah, maka umur layan efektif perkerasan akan menurun, karena kehilangan kekuatan struktural dan kestabilannya terjadi lebih cepat. Oleh karena itu, pengendalian terhadap karakteristik volumetrik seperti VIM, VMA, dan VFA, serta penerapan sistem drainase dan bahan tambahan anti-strip, menjadi langkah strategis untuk memperpanjang umur rencana dan menjaga kinerja jangka panjang perkerasan jalan.

1. Berat Jenis Campuran (Bulk Density)

Adalah perbandingan antara berat kering aspal dengan volume total campuran menggambarkan kepadatan suatu campuran aspal padat dalam keadaan kering. Nilai mencerminkan berapa banyak massa dari campuran yang terkandung dalam suatu volume, yang mencakup agregat, aspal, dan udara dalam campuran.



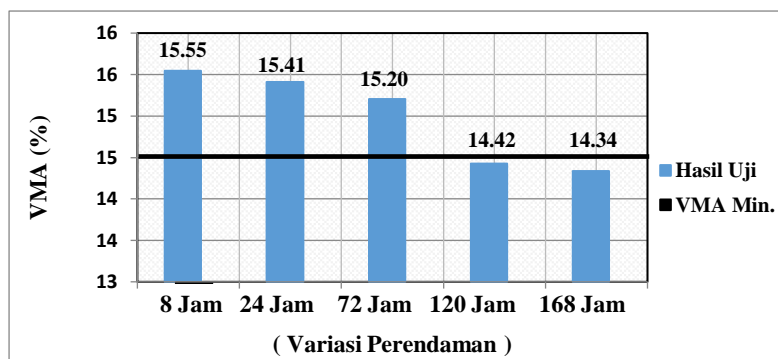
Gambar 3. Grafik Berat Jenis Variasi Perendaman (AC – WC).

Terlihat bahwa nilai berat jenis campuran meningkat dari 2,284 gr/cc (8 jam) menjadi 2,317 gr/cc (168 jam). Kenaikan ini mengindikasikan peningkatan kepadatan akibat perendaman air hujan yang memicu pengisian rongga oleh air dan partikel halus. Namun, meskipun berat jenis meningkat, fenomena ini tidak selalu diikuti peningkatan

stabilitas, karena air yang masuk dapat mengganggu ikatan aspal–agregat (stripping).

2. Rongga Mineral Agregat (VMA)

Volume pori dalam agregat campuran (VMA) banyaknya pori diantara butir – butir campuran beraspal panas. Nilai VMA yang kecil menyebabkan aspal yang menyelimuti agregat terbatas, sehingga terjadinya kerusakan, dan nilai VMA yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi *fleksible*.

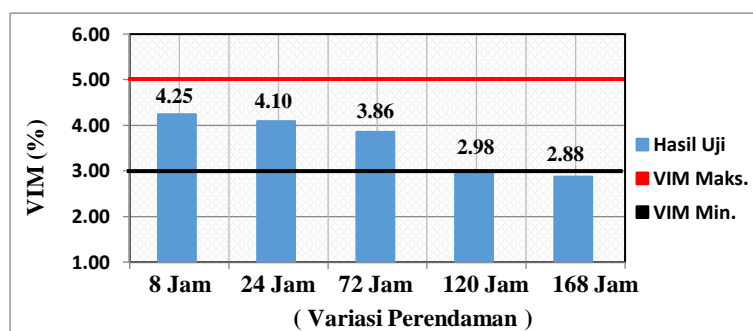


Gambar 4. Grafik VMA Variasi Perendam (AC – WC).

Nilai VMA menurun dari 15,55% menjadi 14,34%, artinya ruang kosong antar agregat semakin sedikit. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga (2018 Revisi 2), nilai VMA minimum adalah 15%. Pada durasi 120 jam dan 168 jam, nilai VMA turun di bawah batas ini, menandakan struktur campuran terlalu rapat sehingga daya tahan terhadap perubahan suhu dan air berkurang. Penurunan VMA secara langsung mengurangi kemampuan lapisan untuk mengakomodasi beban lalu lintas jangka panjang.

3. Rongga Udara dalam Campuran (VIM)

Rongga dalam campuran (VIM) merupakan jumlah pori-pori di antara butiran agregat yang terisi oleh aspal. Semakin kecil nilai VIM akan menimbulkan bleeding, campuran aspal akan semakin kedap terhadap air sehingga udara tidak dapat masuk kedalam lapisan beraspal, hal ini menyebabkan aspal menjadi rapuh dan getas. Semakin besar nilai VIM akan menimbulkan kelelahan lebih cepat

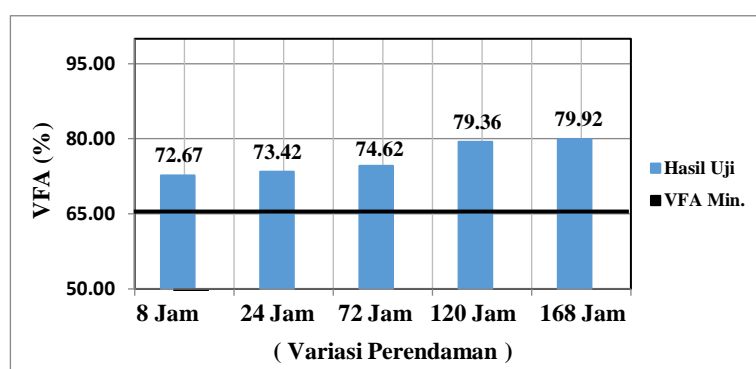


Gambar 5. Grafik VIM Variasi Perendaman (AC – WC).

Nilai VIM menunjukkan penurunan signifikan dari 4,25% (8 jam) menjadi 2,88% (168 jam). Rentang ideal VIM adalah 3–5%. Ketika $VIM < 3\%$, campuran menjadi terlalu padat, udara tidak dapat keluar, dan terjadi risiko bleeding (kelebihan aspal di permukaan). Hal ini akan mempercepat penurunan umur rencana perkerasan akibat deformasi plastis dan retak dini.

4. Rongga Terisi Aspal (VFA)

Rongga terisi aspal adalah menunjukkan seberapa banyak ruang antara butiran agregat terisi aspal, bukan udara. Ini merupakan parameter penting dalam campuran beraspal panas untuk mengukur ketahanan terhadap deformasi, kerusakan akibat air dan stabilitas campuran. Jika Nilai VFA $< 65\%$ rentan terhadap kerusakan akibat air dan retak, sedangkan nilai VFA $> 80\%$ bisa menyebabkan deformasi plastis (bleeding atau alur).

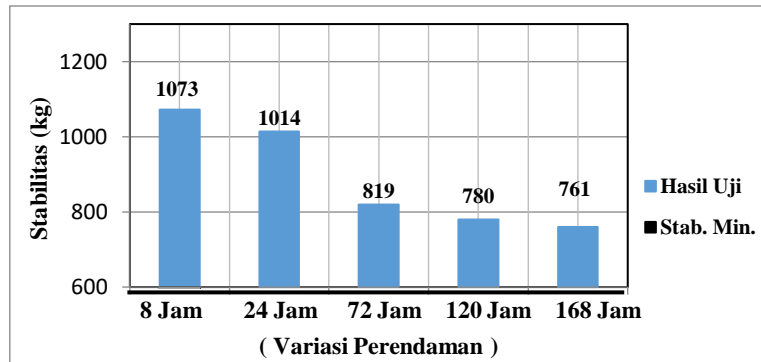


Gambar 6. Grafik VFA Variasi Perendaman (AC – WC).

Peningkatan Nilai VFA dari 72,67% menjadi 79,92% seiring lamanya durasi perendaman. Kenaikan disebabkan menurunnya rongga udara VIM, sehingga proporsi rongga terisi aspal semakin tinggi. Meskipun semua nilai masih memenuhi syarat minimal 65%, VFA $> 78\%$ menandakan kondisi over-compacted, yang dapat memicu retak kulit buaya pada umur layan menengah.

5. Stability

Stability adalah ukuran kekuatan dan ketahanan campuran beraspal terhadap beban lalu lintas. Ini merupakan salah satu parameter utama dalam uji Marshall (Marshall Stability Test), yang digunakan untuk mengevaluasi performa campuran beraspal panas (Hot Mix Aspal). Stabilitas tinggi menunjukkan campuran lebih tahan deformasi permanen (seperti rutting), tetapi harus diimbangi dengan fleksibilitas Flow (Kelelahan) yang cukup.

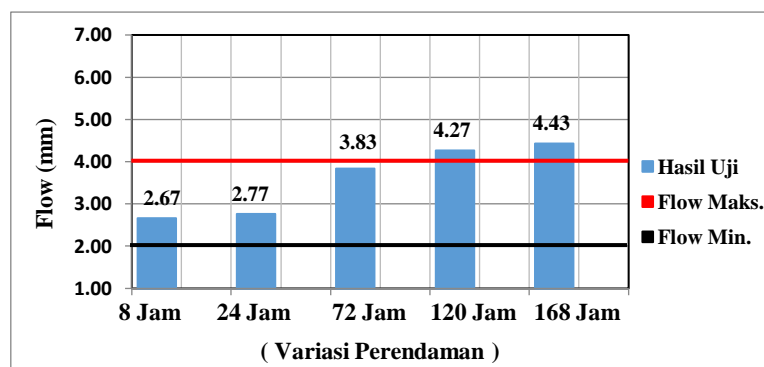


Gambar 7. Grafik Stability Variasi Perendaman (AC – WC).

Nilai stabilitas menurun drastis dari 1073 kg (8 jam) menjadi 761 kg (168 jam). Nilai stabilitas di bawah 800 kg (pada 120 jam dan 168 jam) sudah tidak memenuhi spesifikasi minimum, sehingga campuran kehilangan kemampuan menahan beban lalu lintas berat.

6. Kelelehan (Flow)

Flow merupakan perubahan bentuk akibat suatu beban yang berhubungan dengan stabilitas, jika dilihat dari grafik diatas terjadi peningkatan terhadap flow dikarenakan semakin rendah nilai stabilitas maka semakin tinggi flownya begitu juga sebaliknya. Nilai flow pada campuran Laston (AC-WC) memiliki range 2 – 4 mm yang artinya apabila nilai flow kurang dari 2 mm akan mengalami retak / alur karena kurangnya fleksibilitas (kelenturan) pada campuran dan apabila nilai flow lebih dari 4 mm maka akan mengalami kerusakan pada perkerasan dengan sangat cepat karena nilai stabilitas yang sangat rendah.

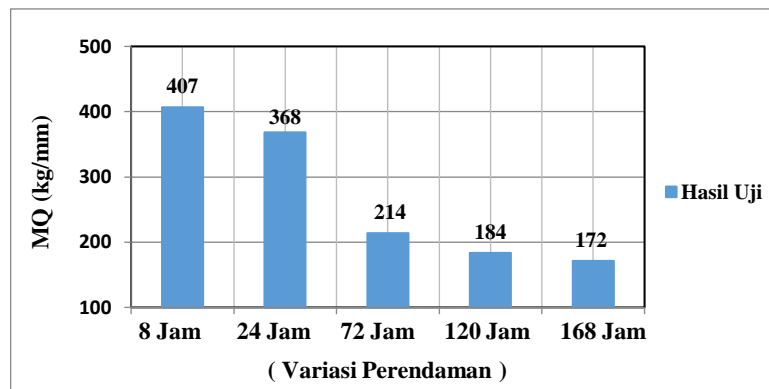


Gambar 8. Grafik Kelelehan (Flow) Variasi Perendaman (AC – WC).

Sementara nilai flow meningkat dari 2,67 mm menjadi 4,43 mm. Hubungan ini menggambarkan bahwa semakin lama perendaman semakin rendah kekuatan struktur campuran deformasi meningkat.

7. Marshall Quation (MQ)

Marshall Quotient (MQ) pada campuran aspal adalah perbandingan antara stabilitas dan flow dari campuran aspal yang diuji dengan menggunakan metode Marshall. Ini digunakan untuk menilai kualitas campuran aspal dalam konstruksi jalan, terutama terkait dengan kemampuan menahan beban dan kelenturan campuran tersebut. MQ memberikan gambaran tentang seberapa baik campuran aspal dapat menahan beban lalu lintas tanpa mengalami kerusakan atau deformasi berlebihan. Nilai MQ yang optimal menunjukkan campuran aspal yang memiliki stabilitas tinggi (kekuatan tahan beban) dengan flow yang wajar (tidak terlalu lentur atau terlalu kaku). Campuran dengan MQ yang baik lebih tahan terhadap keausan dan deformasi.



Gambar 9. Grafik Marshall Quation Variasi Perendaman (AC – WC).

Nilai Marshall Quotient (MQ) = Stabilitas / Flow. Terlihat bahwa MQ menurun dari 407 kg/mm (8 jam) menjadi 172 kg/mm (168 jam). Nilai ini menunjukkan penurunan kekakuan dan ketahanan deformasi plastis yang signifikan akibat pengaruh air hujan terhadap ikatan aspal – agregat.

Analisis Empiris

Rumus empiris:

$$N = N_0 (1 - k (VIM_{ideal} - VIM))$$

$$N = N_0 (1 - 0,35(4 - VIM))$$

dengan $N_0 = 12,5$ tahun (umur rencana campuran ideal pada $VIM = 4\%$).

Tabel 4. Tabel Analisis Empiris.

Durasi Perendaman	VIM (%)	Umur Rencana (th)
8 Jam	4,25	11,41
24 Jam	4,10	12,07
72 Jam	3,86	11,89

120 Jam	2,98	8,04
168 Jam	2,88	7,6

Sumber : Hasil Kajian Penelitian, (2025)

Dari tabel di atas terlihat bahwa umur rencana turun tajam ketika nilai VIM < 3%. Dengan demikian, perendaman jangka panjang dapat memangkas umur jalan hingga lebih dari 35% dari umur rencana idealnya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan Analisis hasil penelitian pada bab VI diatas, maka dapat disimpulkan Perubahan nilai VIM, VMA, dan VFA akibat variasi lama perendaman menggunakan air hujan menunjukkan bahwa semakin lama campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)* direndam menggunakan air hujan, maka terjadi perubahan nilai *Void in Mix (VIM)* dan *Void in Mineral Aggregate (VMA)* cenderung menurun, sedangkan *Void Filled with Asphalt (VFA)* mengalami peningkatan. Hal ini mengindikasikan bahwa proses perendaman menyebabkan air meresap ke dalam struktur pori campuran, sehingga mengurangi volume rongga udara, berdampak pada menurunnya daya ikat (adhesi) antara aspal dan agregat Akibatnya, kestabilan campuran berpotensi menurun karena berkurangnya kekuatan internal antarpartikel agregat. Hubungan nilai *Void in Material (VIM)* dengan umur rencana perkerasan jalan pada lapis AC-WC akibat variasi perendaman terlihat bahwa umur rencana turun tajam ketika nilai VIM < 3%. Dengan demikian, perendaman jangka panjang dapat memangkas umur jalan hingga lebih dari 35% dari umur rencana idealnya. Berdasarkan Persamaan Model empiris sederhana untuk memperkirakan umur rencana perkerasan berdasarkan nilai void dan kondisi perendaman diperoleh $N_0 = 12,5$ tahun (Umur Rencana campuran ideal pada VIM=4%)

Saran

Dalam konteks umur rencana perkerasan (design life), hal tersebut berarti bahwa semakin lama campuran terpapar oleh kondisi basah, maka umur layan efektif perkerasan akan menurun, karena kehilangan kekuatan struktural dan kestabilannya terjadi lebih cepat. Oleh karena itu perlu : Pengendalian terhadap karakteristik volumetrik seperti *Void in Material (VIM)*, *Void in Material Agregate (VMA)*, dan *Void in Filled Asphalt (VFA)* serta Penerapan sistem drainase dan bahan tambahan anti-strip, menjadi langkah strategis untuk memperpanjang umur rencana dan menjaga kinerja jangka panjang perkerasan jalan.

DAFTAR REFERENSI

- AASHTO. (2018). Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage (T283). American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Airey, G. D., Collop, A. C., Nguyen, N. H., & Choi, Y. K. (2018). Moisture sensitivity of asphalt mixtures: A state-of-the-art review. *International Journal of Pavement Engineering*, 19(8), 761-773.
- Anderson, M., Christensen, D., & Bonaquist, R. (2020). Effects of Air Void Content on Asphalt Mixture Performance. Transportation Research Board.
- Chen, M., Zhang, H., & Li, X. (2020). Influence of void characteristics on moisture-induced damage of asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 232, 117-136.
- Doyle, J., Gudipudi, P., & Armstrong, P. (2019). Impact of rainfall characteristics on pavement surface and subsurface deterioration. *Road Materials and Pavement Design*, 20(7), 1671-1686.
- Huang, Y. H. (2017). *Pavement Analysis and Design* (3rd ed.). Pearson Prentice Hall.
- Kamil, M., Fadhil, F., & Rahmad, R. (2022). Pengaruh perendaman terhadap stabilitas dan durabilitas campuran AC-WC menggunakan air hujan. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*, 8(1), 35-46.
- Kim, Y. R. (2018). *Mechanics of Asphalt: Microstructure and Micromechanics*. CRC Press.
- Li, Z., Wu, S., & Zeng, W. (2021). Effect of pH and chemical composition of water on asphalt-aggregate adhesion. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 33(4), 04021036. <https://doi.org/10.1155/2021/8870295>
- Nugroho, D., Suroso, B., & Setiadi, A. (2020). Kajian hubungan void dengan umur rencana perkerasan fleksibel berdasarkan parameter modulus campuran. *Jurnal Teknik Sipil*, 27(1), 45-54.
- Siregar, A., Harahap, D., & Hutabarat, J. (2019). Analisa pengaruh perendaman air hujan terhadap karakteristik campuran AC-WC. *Media Teknik Sipil*, 17(3), 212-220.
- Suparma, L. B., & Haryanto, A. (2021). Pengaruh nilai rongga udara terhadap ketahanan campuran beraspal terhadap kerusakan akibat air. *Jurnal Jalan-Jembatan*, 38(2), 101-112.
- Suprpto, H., & Wardhana, W. (2021). Durabilitas campuran asphalt concrete akibat pengaruh lingkungan tropis. *Indonesian Journal of Road Engineering*, 8(2), 97-108.
- Wang, D., Liu, P., Chen, X., & Xu, G. (2018). Moisture damage evaluation of asphalt mixtures by dynamic modulus and surface energy theory. *Materials & Design*, 156, 429-438.
- Zhu, Y., Zhang, L., & Wen, Y. (2022). Influence of air voids on long-term performance and life prediction of asphalt pavement. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 9(3), 401-412.