



Terbit *online* pada laman web jurnal :
<https://ejournal.sttp-yds.ac.id/index.php/js/index>

SAINSTEK

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Analisis Implikasi Perendaman Air Hujan Terhadap Kinerja Perkerasan Aspal Berdasarkan Parameter Marshall

Sahriyal^a, Erny^b, Riza Pahlifi^c

^{a,b,c}Institut Teknologi dan Bisnis Indragiri, Jl. R Soeprpto No. 14, Rengat, 21019, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 29 Mei 2026

Revisi Akhir: 08 Juni 2026

Diterbitkan *Online*: 27 Juni 2026

KATA KUNCI

Perkerasan Aspal

Air Hujan

Parameter Marshall

Kinerja Perkerasan

KORESPONDENSI

Telepon:

E-mail: sahriyal047@gmail.com

ABSTRACT

Perkerasan jalan memiliki peranan penting dalam mendukung mobilitas dan pertumbuhan ekonomi, namun kinerjanya sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, khususnya air hujan. Infiltrasi air hujan ke dalam lapisan perkerasan dapat menurunkan daya ikat antara aspal dan agregat sehingga mempercepat kerusakan jalan. Penelitian ini mempunyai tujuan guna menganalisis pengaruh perendaman air hujan kepada nilai stabilitas, flow, serta parameter Marshall berupa Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), dan Void Filled with Asphalt (VFA), serta mengevaluasi implikasinya terhadap kinerja perkerasan aspal. Penelitian menerapkan metode eksperimen laboratorium melalui pengujian Marshall pada benda uji campuran aspal yang direndam menggunakan air hujan melalui variasi waktu 24 jam, 48 jam, 72 jam, 120 jam, dan 168 jam. Campuran aspal dirancang menggunakan metode Marshall untuk memperoleh kadar aspal optimum sebelum dilakukan pengujian. Hasil penelitian menunjukkan bahwasanya lamanya waktu perendaman, menurun juga nilai stabilitas campuran aspal, sedangkan nilai flow mengalami peningkatan. Nilai VIM dan VMA cenderung meningkat masing-masing sebesar 4,25 % dan 15,55%, sementara nilai VFA mengalami penurunan sebesar 72,67 % akibat masuknya air ke dalam rongga campuran yang menyebabkan berkurangnya daya ikat aspal terhadap agregat. Perendaman air hujan menyebabkan penurunan nilai stabilitas dan Marshall Quotient (MQ) masing-masing sebesar 29,07 % dan 235 kg/mm serta peningkatan nilai Void in Mix (VIM) sebesar 4,25%, yang mengindikasikan melemahnya ikatan aspal-agregat dan menurunnya kinerja perkerasan aspal terhadap beban lalu lintas. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa perendaman air hujan memberikan dampak negatif kepada kinerja perkerasan aspal karena mempercepat terjadinya moisture damage yang dapat mengurangi umur layanan perkerasan jalan

1. PENDAHULUAN

Perkerasan jalan termasuk infrastruktur transportasi yang berfungsi penting dalam menunjang pergerakan masyarakat, penyaluran barang, serta peningkatan ekonomi di suatu daerah. Kualitas kinerja perkerasan jalan dipengaruhi oleh faktor lingkungan, intensitas beban lalu lintas, dan mutu bahan penyusun campuran aspal. Salah

satu faktor lingkungan yang paling dominan memengaruhi umur layanan perkerasan aspal di daerah tropis seperti Indonesia adalah air hujan. Intensitas curah hujan yang tinggi dapat menyebabkan infiltrasi air ke dalam lapisan perkerasan sehingga menurunkan daya ikat antara agregat dan aspal serta mempercepat kerusakan jalan [1].

Air yang masuk ke dalam campuran beraspal dapat menyebabkan berkurangnya adhesi antara aspal dan agregat serta menurunkan kohesi aspal itu sendiri. Kondisi

tersebut akan mengurangi stabilitas campuran dan meningkatkan deformasi pada lapisan perkerasan. Sukirman menyatakan bahwa air merupakan salah satu faktor utama penyebab kerusakan dini pada perkerasan lentur karena mampu melemahkan ikatan aspal dan agregat sehingga daya dukung campuran menurun [2]. Selain itu, kerusakan akibat kelembaban (*moisture damage*) pada campuran beraspal dapat terjadi karena proses stripping yang menyebabkan terlepasnya lapisan aspal dari permukaan agregat [3].

Dalam evaluasi kualitas campuran aspal, suatu metode yang umum diterapkan adalah pengujian Marshall. Metode Marshall diterapkan untuk menentukan karakteristik campuran aspal melalui parameter Stabilitas, VIM (*Flow, Void in Mix*), VMA (*Void in Mineral Aggregate*), serta VFA (*Void Filled with Asphalt*). Parameter tersebut menjadi indikator penting dalam menentukan kemampuan campuran aspal dalam menerima beban lalu lintas dan pengaruh lingkungan. Menurut *Asphalt Institute*, pengujian Marshall banyak digunakan untuk mengevaluasi karakteristik kinerja campuran aspal terhadap kondisi pembebanan [4].

Penelitian mengenai pengaruh perendaman terhadap campuran aspal telah banyak dilakukan, namun sebagian besar masih menggunakan air biasa atau perendaman standar laboratorium. Padahal, air hujan memiliki karakteristik kimia tertentu seperti tingkat keasaman (pH) dan kandungan mineral yang bisa memberi dampak berbeda kepada sifat campuran beraspal. Oleh karenanya, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai implikasi perendaman air hujan terhadap kinerja perkerasan aspal berdasarkan parameter Marshall agar diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai ketahanan campuran aspal terhadap kondisi lingkungan aktual.

Berharap penelitian ini mampu memberi kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi perkerasan jalan yang lebih tahan kepada pengaruh air hujan, khususnya pada wilayah dengan intensitas curah hujan tinggi. Selain itu, hasil penelitian dapat menjadi bahan pertimbangan dalam perencanaan, pelaksanaan, dan pemeliharaan perkerasan jalan sehingga umur layanan jalan dapat lebih optimal.

Merujuk dari latar belakang sebelumnya, rumusan permasalahan pada penelitian ini adalah:

- 1) Bagaimana pengaruh perendaman air hujan terhadap nilai stabilitas campuran aspal berdasarkan parameter Marshall ?
- 2) Bagaimana pengaruh perendaman air hujan terhadap nilai flow campuran aspal ?
- 3) Bagaimana perubahan parameter Marshall seperti VIM, VMA, dan VFA akibat perendaman air hujan ?
- 4) Bagaimana implikasi perendaman air hujan terhadap kinerja perkerasan aspal ?

Merujuk dari rumusan permasalahan yang sudah diuraikan, tujuan penelitian ini adalah:

- 1) Menganalisa pengaruh perendaman air hujan terhadap nilai stabilitas campuran aspal berdasarkan parameter Marshall.
- 2) Menganalisa pengaruh perendaman air hujan kepada nilai flow campuran aspal.
- 3) Mengetahui perubahan parameter Marshall berupa VIM, VMA, dan VFA akibat perendaman air hujan.
- 4) Mengevaluasi implikasi perendaman air hujan kepada kinerja perkerasan aspal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perkerasan Aspal

Perkerasan jalan merujuk pada struktur yang dibangun di atas tanah dasar untuk mendukung serta menyalurkan beban lalu lintas ke lapisan di bawahnya sehingga tidak terjadi kerusakan berlebihan pada permukaan jalan. Berdasarkan jenis bahan pengikatnya, perkerasan jalan dibedakan menjadi 3, yaitu perkerasan kaku, perkerasan lentur, serta perkerasan komposit. Perkerasan lentur memanfaatkan aspal menjadi bahan pengikat utama sehingga memiliki sifat fleksibel terhadap beban kendaraan dan perubahan temperatur [3].

Struktur perkerasan lentur tersusun atas beberapa lapisan, meliputi lapisan permukaan, lapisan pondasi atas, lapisan pondasi bawah, serta tanah dasar. Lapisan permukaan berperan utama dalam menerima beban kendaraan secara langsung dan sekaligus berfungsi melindungi lapisan di bawahnya dari pengaruh air serta kondisi cuaca [2]. Oleh karena itu, kualitas campuran aspal pada lapisan permukaan sangat menentukan umur layanan jalan

2.2. Aspal dan Karakteristiknya

Aspal merupakan material hidrokarbon yang bersifat viskoelastis dan digunakan menjadi bahan pengikat agregat dalam campuran perkerasan lentur. Aspal memiliki sifat kedap air, daya adhesi tinggi terhadap agregat, serta mampu memberikan fleksibilitas pada campuran perkerasan [4].

Karakteristik aspal dipengaruhi oleh temperatur dan kondisi lingkungan. Pada temperatur tinggi aspal akan menjadi lunak, sedangkan pada temperatur rendah aspal akan mengeras dan cenderung rapuh. Selain pengaruh temperatur, air juga dapat memengaruhi kualitas aspal karena mampu menurunkan daya lekat antara aspal dan agregat [7].

Menurut Sukirman, kerusakan akibat air terjadi karena masuknya air ke dalam rongga campuran sehingga mengurangi daya adhesi aspal terhadap agregat dan menyebabkan pelepasan butiran agregat dari permukaan perkerasan [2].

2.3. Pengaruh Air Hujan terhadap Perkerasan Aspal

Air hujan termasuk suatu faktor lingkungan yang berdampak besar kepada kinerja perkerasan lentur. Curah hujan yang tinggi dapat menyebabkan infiltrasi air ke pori-pori campuran aspal yang nantinya bisa mempercepat proses kerusakan jalan. Air yang terperangkap di dalam lapisan perkerasan dapat menyebabkan penurunan stabilitas, retak, stripping, bleeding, dan deformasi permanen [5].

Kerusakan akibat kelembaban (*moisture damage*) terjadi ketika air memisahkan lapisan aspal dari permukaan agregat. Proses ini dikenal sebagai stripping. Roberts et al. menjelaskan bahwa stripping menyebabkan hilangnya kekuatan struktural campuran sehingga umur layanan perkerasan menjadi lebih pendek [3].

Selain itu, air hujan memiliki kandungan kimia tertentu seperti tingkat keasaman (pH) yang dapat mempercepat degradasi campuran aspal. Semakin lama waktu perendaman, maka potensi penurunan kualitas campuran aspal juga semakin besar [8].

2.4. Campuran Aspal Beton (*Asphalt Concrete*)

Campuran aspal beton atau AC (*Asphalt Concrete*) merupakan campuran antara agregat kasar, agregat halus, *filler*, serta aspal yang dicampurkan dalam temperatur tertentu. Campuran ini dirancang agar memiliki stabilitas tinggi, fleksibilitas yang baik, tahan terhadap deformasi, serta mampu menahan pengaruh dari cuaca serta beban lalu lintas [4].

Dalam perencanaan campuran aspal beton, proporsi setiap material harus memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan agar diperoleh campuran dengan kinerja optimum. Parameter penting yang harus diperhatikan meliputi stabilitas, flow, rongga udara dalam campuran, dan ketahanan terhadap air [9].

2.5. Pengujian Marshall

Pengujian Marshall merupakan metode yang umum digunakan dalam mengevaluasi karakteristik campuran aspal panas. Metode ini mempunyai tujuan guna menentukan kadar aspal optimum serta menilai kemampuan campuran dalam menahan beban dari lalu lintas [7]. Parameter utama pada pengujian Marshall meliputi:

- 1) *Stabilitas Marshall*
Stabilitas Marshall menunjukkan kemampuan campuran aspal untuk menahan beban maksimum sebelum terjadinya kerusakan. Nilai stabilitas yang tinggi menunjukkan campuran memiliki kekuatan yang baik terhadap deformasi [9].
- 2) *Flow*
Flow merupakan besarnya deformasi plastis yang terjadi di saat benda pengujian menerima beban

maksimum. Nilai flow digunakan untuk mengetahui tingkat fleksibilitas campuran aspal [3].

- 3) *Void in Mix (VIM)*
VIM merupakan persentase rongga udara dalam campuran aspal yang berfungsi sebagai ruang untuk pemuaian aspal akibat perubahan temperatur. Nilai VIM yang terlalu tinggi berpotensi meningkatkan kemudahan penetrasi air ke dalam campuran [2].
- 4) *Void in Mineral Aggregate (VMA)*
VMA merupakan volume rongga tiap agregat dalam campuran yang terisi aspal dan udara. Nilai VMA berpengaruh terhadap durabilitas campuran aspal [7].
- 5) *Void Filled with Asphalt (VFA)*
VFA merepresentasikan proporsi ruang kosong dalam agregat yang terisi oleh bahan pengikat aspal. Nilai VFA yang sesuai akan meningkatkan ketahanan campuran terhadap pengaruh air dan beban lalu lintas [9].

2.6. Kinerja Perkerasan Aspal

Kinerja perkerasan aspal merupakan kemampuan lapisan perkerasan dalam melayani beban lalu lintas dan pengaruh lingkungan selama umur rencana tertentu. Kinerja perkerasan dipengaruhi oleh kualitas material, metode pelaksanaan, sistem drainase, beban kendaraan, dan kondisi cuaca [5].

Salah satu indikator utama penurunan kinerja perkerasan adalah berkurangnya stabilitas campuran akibat pengaruh air. Menurut Hardiyatmo, air yang meresap ke lapisan perkerasan bisa mempercepat kerusakan struktural serta menurunkan umur layanan jalan [10].

2.7. Penelitian Terdahulu

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa perendaman air memberikan pengaruh signifikan terhadap parameter Marshall campuran aspal. Penelitian oleh Kandhal menyatakan bahwa campuran aspal yang mengalami perendaman dalam waktu lama cenderung mengalami penurunan stabilitas dan peningkatan flow akibat melemahnya ikatan antara aspal dan agregat [11].

Penelitian lainnya juga menunjukkan bahwa durasi perendaman berpengaruh terhadap nilai Void in Mix (VIM) dan Void Filled with Asphalt (VFA). Semakin lama campuran terpapar air, maka rongga dalam campuran akan semakin mudah ditembus air sehingga mempercepat kerusakan perkerasan [8].

Penelitian yang dilakukan oleh Sjelly Haniza, Ulfa Jusi, dan M. Rizki dengan judul Analisis Nilai Karakteristik *Asphalt Concrete-Wearing Course* Terhadap Variasi Lama Rendaman Pada Air Gambut menunjukkan bahwa variasi lama perendaman pada air gambut mempengaruhi nilai karakteristik Marshall campuran AC-WC, terutama pada parameter stabilitas, *flow*, dan *Marshall Quotient* [12]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin

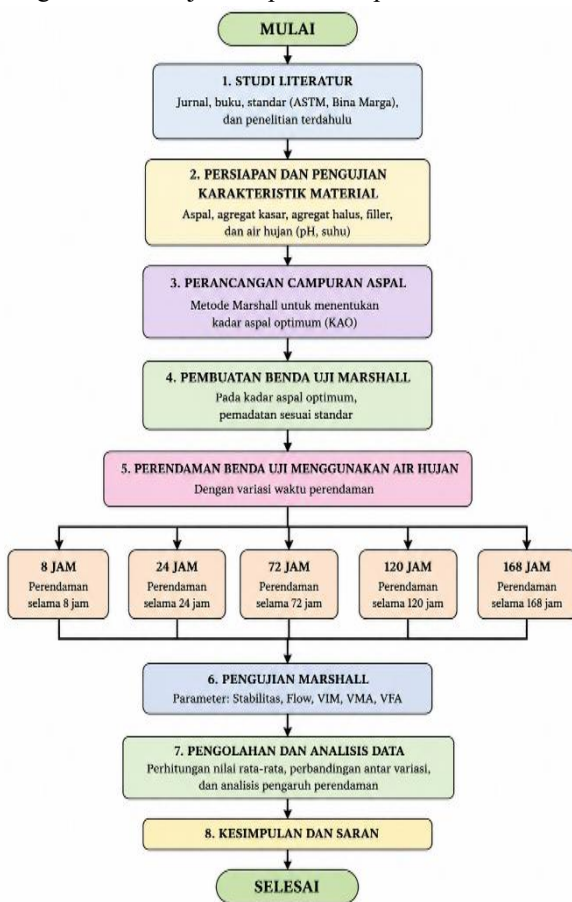
lama waktu perendaman maka nilai stabilitas cenderung menurun akibat pengaruh kandungan air terhadap daya lekat aspal dan agregat.

Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut, penelitian mengenai implikasi perendaman air hujan terhadap kinerja perkerasan aspal berdasarkan parameter Marshall masih relevan untuk dilakukan guna memperoleh informasi yang lebih spesifik sesuai kondisi lingkungan aktual, khususnya dalam mengevaluasi pengaruh air hujan terhadap karakteristik campuran aspal dan implikasinya terhadap kinerja perkerasan di lapangan.

3. METODOLOGI

3.1. Flowchart Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis sebagaimana ditunjukkan pada alur penelitian berikut :



Gambar 1. Flowcart Penelitian

3.2. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium guna menganalisis pengaruh perendaman air hujan kepada kinerja campuran perkerasan aspal merujuk dari parameter Marshall. Metode eksperimen dipilih karena penelitian dilakukan melalui pengujian langsung terhadap benda uji campuran aspal dengan perlakuan tertentu berupa variasi waktu perendaman air hujan.

Tahapan pertama penelitian diawali dengan menyiapkan material berupa agregat halus, agregat kasar, aspal, filler,

serta air hujan. Selanjutnya dilaksanakan pemeriksaan karakteristik material guna memastikan semua bahan memenuhi spesifikasi yang berlaku [6].

Campuran aspal dirancang menggunakan metode Marshall untuk memperoleh kadar aspal optimum. Ketika sudah didapatkan kadar aspal yang optimum, benda uji dibuat sesuai standar pengujian Marshall. Benda uji kemudian direndam menggunakan air hujan dengan variasi waktu tertentu, misalnya 8 Jam, 24 jam, 48 jam, 72 jam, 120 jam, serta 168 jam.

Pemilihan variasi waktu perendaman tersebut dilakukan untuk mensimulasikan kondisi eksisting perkerasan jalan di lapangan akibat pengaruh genangan dan paparan air hujan pada wilayah beriklim tropis dengan intensitas curah hujan yang tinggi. Variasi waktu 8 jam digunakan untuk merepresentasikan kondisi hujan harian dengan durasi singkat hingga sedang yang umum terjadi pada permukaan jalan. Variasi 24 jam dipilih untuk menggambarkan kondisi perkerasan yang mengalami genangan selama satu hari akibat sistem drainase yang kurang optimal.

Selanjutnya, variasi 48 jam dan 72 jam digunakan untuk mensimulasikan kondisi jalan yang terpapar genangan air secara terus-menerus selama beberapa hari berturut-turut akibat hujan berintensitas tinggi. Kondisi ini sering ditemukan pada ruas jalan dengan elevasi rendah atau saluran drainase yang tidak berfungsi dengan baik. Sementara itu, variasi 120 jam dan 168 jam dipilih untuk menggambarkan pengaruh jangka lebih panjang terhadap ketahanan campuran aspal akibat kondisi kelembaban tinggi dan genangan berkepanjangan yang berpotensi terjadi pada musim hujan.

Pemilihan variasi waktu tersebut juga bertujuan untuk melihat perubahan karakteristik Marshall secara bertahap sehingga dapat dianalisis pola penurunan kinerja campuran aspal akibat pengaruh air hujan. Dengan demikian, variasi waktu perendaman yang digunakan diharapkan mampu memberikan gambaran kondisi aktual perkerasan aspal di lapangan terhadap pengaruh lingkungan basah.

Ketika proses perendaman sudah selesai, selanjutnya dilakukannya pengujian Marshall guna memperoleh parameter stabilitas, flow, *Void in Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), dan *Void Filled with Asphalt* (VFA). Hasil pengujian digunakan dalam mengevaluasi perubahan karakteristik campuran aspal akibat pengaruh perendaman air hujan.

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif dikarenakan data hasil pengujian berupa angka yang dianalisis untuk mengetahui hubungan antara lama perendaman dan perubahan parameter Marshall.

3.3. Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan dengan pengujian laboratorium terhadap campuran aspal. Data yang sudah terkumpul terdiri atas data sekunder serta primer.

3.1.1. Data Primer

Data primer diperoleh langsung melalui hasil pengujian laboratorium, meliputi:

- a) Data karakteristik agregat dan aspal.
- b) Data kadar aspal optimum hasil perencanaan campuran Marshall.
- c) Data hasil pengujian Marshall berupa : Stabilitas, Flow, VIM, VMA dan VFA
- d) Data perubahan parameter Marshall akibat variasi waktu perendaman air hujan.

Pengujian Marshall dilakukan sesuai standar ASTM D6927 mengenai metode pengujian stabilitas dan flow campuran aspal [7].

3.1.2. *Data Sekunder*

Data sekunder diperoleh melalui studi literatur dari buku, jurnal ilmiah, standar spesifikasi, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan:

- a) Perkerasan lentur,
- b) Campuran aspal,
- c) Pengaruh air terhadap perkerasan,
- d) Pengujian Marshall,
- e) Karakteristik campuran aspal akibat moisture damage.

3.4. *Teknik Analisis Data*

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk mengetahui pengaruh perendaman air hujan terhadap parameter Marshall campuran aspal. Tahapan analisis data meliputi :

- 1) Menghitung nilai rata-rata parameter Marshall pada setiap variasi waktu perendaman.
- 2) Membandingkan perubahan nilai stabilitas, flow, VIM, VMA, dan VFA sebelum dan sesudah perendaman.
- 3) Menganalisis hubungan antara durasi perendaman dengan penurunan atau peningkatan parameter Marshall.
- 4) Mengevaluasi tingkat ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh air hujan berdasarkan spesifikasi yang berlaku [6].
- 5) Menarik kesimpulan mengenai implikasi perendaman air hujan terhadap kinerja perkerasan aspal.

Analisis dilakukan menggunakan tabel dan grafik untuk mempermudah interpretasi perubahan parameter Marshall akibat pengaruh perendaman air hujan. Menurut Roberts et al., penurunan stabilitas dan meningkatnya nilai flow dapat menjadi indikator terjadinya kerusakan akibat kelembaban pada campuran aspal [3].

4. **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis implikasi perendaman air hujan terhadap kinerja campuran perkerasan aspal berdasarkan parameter Marshall. Pengujian dilakukan terhadap benda uji campuran aspal dengan variasi waktu perendaman menggunakan air hujan, yaitu 8 jam, 72 jam, 24 jam, 168 jam, dan 120 jam. Parameter yang dianalisa mencakup flow, stabilitas, VIM, VMA, serta VFA.

4.1. *Hasil Pengujian Marshall Akibat Perendaman Air Hujan*

Pengujian Marshall dilakukan untuk mengetahui pengaruh perendaman air hujan terhadap karakteristik campuran aspal. Variasi waktu perendaman yang digunakan dalam penelitian ini adalah 8 jam, 24 jam, 72 jam, 120 jam, dan 168 jam.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Marshall Campuran Aspal Setelah Perendaman Air Hujan

Lama Perendaman (Jam)	Berat Jenis (gram/cc)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFA (%)	MQ (kg/mm)
8	2,284	1073	2,67	2,88	14,34	79,92	407
24	2,288	1014	2,77	2,98	14,42	79,36	368
72	2,293	819	3,83	3,86	15,20	74,62	214
120	2,314	780	4,27	4,10	15,41	73,42	184
168	2,317	761	4,43	4,25	15,55	72,67	172

4.2. *Analisis Pengaruh Perendaman Air Hujan terhadap Stabilitas Marshall*

Tabel 4.2 Perubahan Stabilitas Akibat Perendaman Air Hujan

Lama Perendaman (Jam)	Berat Jenis (gram/cc)	Stabilitas (kg)	Penurunan Stabilitas (%)
8	2,284	1073	-
24	2,288	1014	5,49
72	2,293	819	23,67
120	2,314	780	27,30
168	2,317	761	29,07

Berdasarkan Tabel 4.2 terlihat bahwa semakin lama waktu perendaman air hujan maka nilai stabilitas Marshall semakin menurun. Nilai stabilitas tertinggi diperoleh pada perendaman 8 jam sebesar 1.073 kg, sedangkan nilai terendah terjadi pada perendaman 168 jam sebesar 761 kg. Penurunan stabilitas memperlihatkan bahwasanya air hujan yang masuk ke rongga campuran mengurangi daya lekat antara aspal dan agregat sehingga kemampuan campuran dalam menahan beban menjadi lebih rendah. Kondisi ini sejalan dengan teori moisture damage yang menyatakan bahwa keberadaan air dapat mempercepat proses stripping pada campuran aspal [3].

4.3. *Analisis Pengaruh Perendaman Air Hujan terhadap Nilai Flow*

Tabel 4.3 Perubahan Nilai Flow

Lama Perendaman (Jam)	Berat Jenis (gram/cc)	Flow (mm)
8	2,284	2,67
24	2,288	2,77
72	2,293	3,83
120	2,314	4,27
168	2,317	4,43

Berdasarkan hasil pengujian, nilai flow mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu perendaman. Nilai flow meningkat dari 2,67 mm pada perendaman 8 jam menjadi 4,43 mm pada perendaman 168 jam.

Peningkatan nilai flow menunjukkan bahwa campuran aspal menjadi lebih plastis dan mudah mengalami deformasi akibat berkurangnya ikatan antara aspal dan agregat. Semakin tinggi nilai flow, semakin besar potensi terjadinya deformasi permanen pada lapisan perkerasan.

4.4. Analisis Perubahan Nilai VIM

Tabel 4.4 Perubahan Nilai VIM

Lama Perendaman (Jam)	Berat Jenis (gram/cc)	VIM (%)
8	2,284	2,88
24	2,288	2,98
72	2,293	3,86
120	2,314	4,10
168	2,317	4,25

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai VIM mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu perendaman air hujan. Kondisi tersebut menunjukkan semakin banyak rongga yang dapat dimasuki air sehingga mempercepat proses kerusakan campuran.

Peningkatan nilai VIM menunjukkan bahwa durabilitas campuran aspal semakin menurun akibat pengaruh perendaman air hujan [2].

4.5. Analisis Perubahan Nilai VMA

Tabel 4.5 Perubahan Nilai VMA

Lama Perendaman (Jam)	Berat Jenis (gram/cc)	VMA (%)
8	2,284	14,34
24	2,288	14,42
72	2,293	15,20
120	2,314	15,41
168	2,317	15,55

Nilai VMA menunjukkan kecenderungan meningkat dengan bertambahnya waktu perendaman. Peningkatan ini mengindikasikan adanya perubahan struktur internal campuran yang menyebabkan rongga antar agregat menjadi lebih besar.

Semakin tinggi nilai VMA menunjukkan bahwa campuran kehilangan kepadatan dan kekompakannya sehingga berpotensi mengalami penurunan kinerja struktural.

4.6. Analisis Perubahan Nilai VFA

Tabel 4.6 Perubahan Nilai VFA

Lama Perendaman (Jam)	Berat Jenis (gram/cc)	VFA (%)
8	2,284	79,92
24	2,288	79,36
72	2,293	74,62
120	2,314	73,42
168	2,317	72,67

Lama Perendaman (Jam)	Berat Jenis (gram/cc)	VFA (%)
8	2,284	79,92
24	2,288	79,36
72	2,293	74,62
120	2,314	73,42
168	2,317	72,67

Nilai VFA mengalami penurunan secara bertahap akibat bertambahnya waktu perendaman. Penurunan VFA menunjukkan bahwa persentase rongga agregat yang terisi aspal semakin berkurang karena pengaruh air hujan.

Kondisi ini mengindikasikan bahwa kemampuan aspal dalam mempertahankan ikatan dengan agregat semakin menurun sehingga campuran menjadi lebih rentan terhadap kerusakan [7].

4.7. Implikasi Perendaman Air Hujan terhadap Kinerja Perkerasan Aspal

Tabel 4.7 Ringkasan Pengaruh Perendaman Air Hujan

Parameter	Tren Perubahan
Stabilitas	Menurun
Flow	Meningkat
VIM	Meningkat
VMA	Meningkat
VFA	Menurun

Berdasarkan seluruh parameter Marshall yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa peningkatan durasi perendaman air hujan memberikan pengaruh negatif terhadap kinerja campuran aspal. Penurunan stabilitas dan VFA yang disertai peningkatan flow, VIM, dan VMA menunjukkan terjadinya pelemahan struktur campuran akibat penetrasi air ke dalam rongga campuran.

Pada perendaman 168 jam diperoleh kondisi paling kritis, yang menunjukkan bahwa paparan air hujan dalam jangka waktu lama dapat mempercepat penurunan umur layanan perkerasan jalan. Oleh karena itu, diperlukan desain campuran yang memiliki ketahanan tinggi terhadap kelembaban serta sistem drainase yang baik untuk meminimalkan pengaruh air terhadap perkerasan jalan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Merujuk dari temuan penelitian, implikasi perendaman air hujan kepada kinerja perkerasan aspal berlandaskan kepada parameter marshall bisa ditarik kesimpulan bahwasanya:

- 1) Perendaman menggunakan air hujan menyebabkan penurunan tingkat stabilitas pada campuran aspal. Lamanya waktu perendaman, nilai stabilitas semakin berkurang, yang menunjukkan menurunnya kemampuan campuran dalam menahan beban akibat melemahnya ikatan aspal dan agregat [2].
- 2) Perendaman air hujan meningkatkan nilai flow campuran aspal. Peningkatan nilai flow menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih mudah mengalami deformasi seiring bertambahnya durasi perendaman

- [7].
- 3) Perendaman air hujan memengaruhi parameter Marshall. Nilai VIM dan VMA cenderung meningkat, sedangkan nilai VFA menurun, yang menunjukkan adanya perubahan struktur internal campuran akibat masuknya air ke dalam rongga campuran.
 - 4) Perendaman air hujan berdampak negatif terhadap kinerja perkerasan aspal. Semakin lama perendaman, semakin besar potensi terjadinya moisture damage yang dapat mempercepat kerusakan dan mengurangi umur layanan perkerasan [3].

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian implikasi perendaman air hujan terhadap kinerja perkerasan aspal berdasarkan parameter marshall terdapat beberapa saran untuk perbaikan dimasa akan datang diantaranya :

- 1) Perlu digunakan material dan campuran aspal yang lebih tahan terhadap pengaruh air, terutama pada daerah dengan curah hujan tinggi.
- 2) Sistem drainase jalan harus direncanakan dan dipelihara dengan baik untuk mencegah genangan dan infiltrasi air ke lapisan perkerasan.
- 3) Penelitian selanjutnya dapat menggunakan variasi waktu perendaman yang lebih panjang serta jenis air yang berbeda untuk memperoleh hasil yang lebih komprehensif.
- 4) Pengujian tambahan seperti Indeks Kekuatan Sisa (IKS), Indirect

- [8] A. Hasanuddin, "Pengaruh Perendaman Air terhadap Karakteristik Marshall Campuran Aspal," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 12, no. 2, pp. 45–53, 2020.
- [9] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Manual Perkerasan Jalan*. Jakarta, Indonesia: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017.
- [10] H. C. Hardiyatmo, *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah*. Yogyakarta, Indonesia: Gadjah Mada University Press, 2019.
- [11] P. S. Kandhal, "Moisture Susceptibility of Hot Mix Asphalt," *National Center for Asphalt Technology Report*. Auburn, Alabama, USA: Auburn University, 1992.
- [12] Haniza, S., Jusi, U., dan Rizki, M., "Analisis Nilai Karakteristik Asphalt Concrete-Wearing Course Terhadap Variasi Lama Rendaman Pada Air Gambut," *SAINSTEK E-Journal STT Pekanbaru*, vol. 10, no. 2, 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Manual Pemeliharaan Jalan*. Jakarta, Indonesia: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018.
- [2] S. Sukirman, *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung, Indonesia: Nova, 2016.
- [3] F. L. Roberts, P. S. Kandhal, E. R. Brown, D. Y. Lee, dan T. W. Kennedy, *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction*. Maryland, USA: NAPA Education Foundation, 1996.
- [4] Asphalt Institute, *The Asphalt Handbook*. Lexington, KY, USA: Asphalt Institute, 2007.
- [5] H. C. Hardiyatmo, *Pemeliharaan Jalan Raya*. Yogyakarta, Indonesia: Gadjah Mada University Press, 2015.
- [6] Direktorat Jenderal Bina Marga, *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018*. Jakarta, Indonesia: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018.
- [7] American Society for Testing and Materials, *ASTM D6927 Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures*. Pennsylvania, USA: ASTM International, 2015.