

PENGARUH GENANGAN AIR TERHADAP KERUSAKAN JALAN ASPAL (AC-BASE)

Muhammad Firza¹, Lizar²

firzamuhammad835@gmail.com¹, lizar@polbeng.ac.id²

Politeknik Negeri Bengkalis

ABSTRAK

Jalan raya merupakan infrastruktur dalam mendukung pergerakan ekonomi, namun rentan mengalami kerusakan akibat genangan air. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh genangan air terhadap kinerja campuran AC-Base melalui pengujian Marshall. Dengan Kadar Aspal Optimum (KAO) didapat sebesar 6,0% berdasarkan pengujian lima variasi kadar aspal 4,0%–6,0%. Pengujian dilakukan pada tiga kondisi : tanpa perendaman, perendaman air biasa, dan perendaman air panas 60°C. Pada perendaman air biasa, stabilitas menurun signifikan dari 2635,59 kg 1 hari menjadi 2126,43 kg 7 hari dan 1668,44 kg 30 hari, meskipun masih memenuhi spesifikasi minimum 1800 kg. Marshall Quotient MQ turun dari 846,03 kg/mm menjadi 470,88 kg/mm, VIM meningkat dari 3,94% menjadi 7,75% melebihi batas maksimum 5%, dan VFA turun dari 76,57% menjadi 61,59% di bawah minimum 65%, menunjukkan degradasi ikatan aspal-agregat. Sebaliknya, pada tanpa perendaman, stabilitas meningkat dari 1837,96 kg 1 hari menjadi 2238,07 kg 30 hari, menandakan penguatan struktur. Untuk perendaman air panas, stabilitas tetap tinggi: 2623,13 kg 30 menit dan 2433,62 kg 60 menit, dengan MQ mencapai 880,38 kg/mm 30 menit dan VFA 74,59%, menunjukkan penetrasi aspal yang optimal. Penemuan ini menegaskan bahwa genangan air jangka panjang merusak kinerja campuran aspal, maka dibutuhkan sistem drainase yang baik dan perlakuan termal dapat memperpanjang umur jalan.

Kata Kunci: Genangan Air, AC-Base, Marshall Test, Kadar Aspal Optimum, Kerusakan Jalan.

ABSTRACT

Highways are critical infrastructure for supporting economic mobility, yet they are vulnerable to damage caused by waterlogging. This study aims to analyze the effect of water ponding on the performance of Asphalt Concrete–Base (AC-Base) mixtures through Marshall testing. The Optimum Asphalt Content (OAC) was determined to be 6.0% based on testing five asphalt content variations 4.0%–6.0%. The tests were conducted under three conditions: without soaking, soaking in room-temperature water, and soaking in hot water 60°C. For room-temperature water soaking, stability significantly decreased from 2,635.59 kg 1 day to 2,126.43 kg 7 days and 1,668.44 kg 30 days, although still meeting the minimum specification of 1,800 kg. The Marshall Quotient (MQ) dropped from 846.03 kg/mm to 470.88 kg/mm, VIM increased from 3.94% to 7.75% exceeding the maximum limit of 5%, and VFA decreased from 76.57% to 61.59% below the minimum of 65%, indicating degradation of the asphalt-aggregate bond. Conversely, in the without-soaking condition, stability increased from 1,837.96 kg 1 day to 2,238.07 kg 30 days, indicating structural strengthening over time. For hot water soaking, stability remained high at 2,623.13 kg 30 minutes and 2,433.62 kg 60 minutes, with MQ reaching 880.38 kg/mm 30 minutes and VFA at 74.59%, indicating optimal asphalt penetration and strong bonding. These findings confirm that prolonged waterlogging degrades asphalt mixture performance, emphasizing the need for effective drainage systems and potential thermal treatments to extend pavement service life.

Keywords: Water Ponding, AC-Base, Marshall Test, Optimum Asphalt Content, Pavement Damage

PENDAHULUAN

Seiring dengan pertumbuhan serta perkembangan sarana transportasi yang meningkat akan berpengaruh pada beban konstruksi jalan yang lama kelamaan akan terjadi kerusakan baik pada struktur pondasi maupun pada lapisan aus. Pemeliharaan jalan menjadi kegiatan

rutin yang harus terprogram dan termonitor oleh pihak yang berwenang agar jika terjadi kerusakan sedikit segera dilakukan perbaikan. Beberapa hal yang bisa timbul akibat jarang dilakukan pemeliharaan diantaranya akar pohon yang merusak jalan, dahan dan daun menghalangi sinar matahari langsung ke jalan sehingga saat ada genangan air tidak bisa langsung hilang, rumput yang tumbuh dimana-mana, sampah di jalan, dan masih banyak lagi akibat kurangnya perawatan jalan. Beberapa permasalahan di atas telah menjadi program rutin dengan cara melaksanakan pekerjaan rehabilitasi pemeliharaan jalan dengan memperbaiki kondisi jalan aspal lama yang sudah rusak dan pelebaran jalan serta perbaikan gorong-gorong, diharapkan dengan pekerjaan ini dapat memperlancar arus lalu lintas dan bagi masyarakat sekitar lokasi pekerjaan dapat menggunakan akses jalan aspal yang lebih bagus, yang dapat dilihat pada contoh Gambar 1.1

Gambar 1. 1 kerusakan jalan akibat Genangan Air



(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025)

Jalan raya merupakan prasarana transportasi penting yang dapat meningkatkan pergerakan dalam proses perkembangan ekonomi dan melahirkan banyaknya perusahaan industri (Falderika, 2018). Kerusakan konstruksi jalan yang diakibatkan oleh genangan air dipermukaan jalan dapat menyebabkan kinerja jalan menjadi menurun dan umur jalan lebih singkat. Saat musim hujan tiba, beberapa ruas jalan yang berada di Kabupaten Bengkalis terendam oleh air yang diakibatkan curah hujan yang tinggi.

Kerusakan jalan aspal adalah salah satu masalah infrastruktur yang sering terjadi di berbagai daerah, terutama pada jalan yang menggunakan lapisan Asphalt Concrete-Base (AC-Base). AC-Base adalah pondasi perkerasan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal dengan perbandingan tertentu dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas.

Salah satu penyebab utama kerusakan pada jalan aspal AC-Base adalah adanya genangan air. Genangan air menyebabkan lapisan pada tanah dasar konstruksi jalan menjadi jenuh. Genangan air yang disebabkan oleh banjir di atas lapisan perkerasan, mengakibatkan lapisan tersebut menjadi aus dan rusak. Genangan ini memberikan kesempatan pada air untuk berinfiltrasi ke dalam lapisan perkerasan dan membuat lapisan aspal menjadi getas akibat tereduksi oleh air.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa air memiliki peran signifikan dalam menurunkan daya tahan aspal terhadap beban dinamis yang diterima dari kendaraan. Ketika air masuk ke dalam pori-pori aspal, ia mengurangi adhesi antara agregat dan aspal, yang akhirnya mempercepat proses pengelupasan dan kerusakan permukaan jalan. Oleh karena itu, penting untuk memahami secara lebih mendalam bagaimana genangan air dapat mempengaruhi kerusakan jalan aspal AC-Base serta solusi yang bisa diterapkan untuk mengatasi masalah ini.

METODOLOGI

Pada pengujian ini, hal yang dilakukan pertama ialah menguji karakteristik bahan

campuran aspal yaitu pengujian karakteristik agregat (kasar dan halus), semen dan aspal. Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70. Setelah dilakukan pengujian tersebut, maka dilanjutkan pembuatan Job Mix Design dimana telah dihitung Kadar Aspal Rencana (KAR) dengan variasi yaitu 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan menghitung kebutuhan agregat. Kemudian membuat benda uji (Marshall) dengan jumlah sampel 15 buah. Selanjutnya melakukan pengujian Marshall untuk sampel Kadar Aspal Rencana (KAR) dan menentukan Kadar Aspal Optimum KAO).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengujian Material

Pengujian material campuran aspal beton ini berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (devisi 6 perkerasan aspal). Pada pengujian material campuran aspal ini terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan aspal. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui kualitas dari material yang digunakan dan memastikan material tersebut memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan.

1) Pengujian Karakteristik Agregat

Pada pengujian karakteristik agregat ini terdiri berat jenis, penyerapan air, keausan agregat dan analisa saringan.

Tabel 1. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

NO	JENIS PENGUJIAN	STANDAR	HASIL PENGUJIAN	PERSYARATAN	ANALISIS
Agregat Kasar					
1	Berat Jenis Bulk	SNI 1969:2016	2,59	Min. 2,5	Memenuhi syarat, menunjukkan kepadatan agregat baik.
2	Berat Jenis Semu	SNI 1969:2016	2,67	Min. 2,5	Memenuhi syarat, menunjukkan kepadatan agregat baik.
3	Berat Jenis Jenuh	SNI 1969:2016	2,67	Min. 2,5	Memenuhi syarat, menunjukkan kepadatan agregat baik.
4	Penyerapan Air	SNI 1969:2016	0,43%	Maks. 3%	Rendah, menunjukkan porositas kecil dan tahan air.
5	Keausan Agregat	SNI 2417:2008	19,67%	Maks. 40%	Jauh di bawah batas, agregat tahan aus.
6	Analisa Saringan	SNI ASTM C136	-	-	-
Agregat Halus					
1	Berat Jenis Bulk	SNI 1970:2016	2,66	Min 2,5	Sesuai standar, agregat halus berkualitas baik.
2	Berat Jenis Semu	SNI 1970:2016	2,77	Min 2,5	Sesuai standar, agregat halus berkualitas baik.

3	Berat Jenis Jenuh	SNI 1970:2016	2,70	Min 2,5	Sesuai standar, agregat halus berkualitas baik.
4	Penyerapan Air	SNI 1970:2016	1,41%	Maks. 3%	Rendah, mendukung ketahanan campuran.
5	Analisa Saringan	SNI ASTM C136	-	-	-
Bahan Pengisi					
1	Semen	SNI 2531:2015	3,06	3,00 ^s /d 3,20	Dalam rentang standar, layak digunakan.

(Sumber: Data Olahan, 2025)

Nilai yang dihasilkan dari pengujian karakteristik agregat dapat dilihat pada tabel 4.1, dapat disimpulkan bahwa semua pengujian agregat telah memenuhi spesifikasi dan layak digunakan dalam penelitian ini. Adapun pengaruh karakteristik agregat terhadap campuran aspal beton adalah sebagai berikut:

2) Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian aspal ini dilakukan untuk mengecek nilai dan memastikan bahwa aspal yang akan digunakan telah memenuhi spesifikasi. Dalam pengujian ini, ada beberapa parameter yang diperiksa seperti daktilitas, penetrasi, titik lembek, titik nyala, titik bakar, kehilangan berat, dan berat jenis. Dalam pengujian ini menggunakan aspal penetrasi 60/70. Aspal keras ini juga cocok digunakan buat iklim tropis. Penetrasi aspal yang rendah digunakan pada volume lalu lintas yang tinggi dan iklim cuaca yang dingin. Sedangkan penetrasi aspal yang tinggi digunakan pada volume lalu lintas rendah dan iklim cuaca yang panas.

Tabel 1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

NO	JENIS PENGUJIAN	STANDAR	HASIL PENGUJIAN	PERSYARATAN	ANALISIS
1	Daktilitas	SNI 2432-2011	163,7	Min. 100	Nilai tinggi menunjukkan aspal sangat elastis dan tidak mudah retak. Sesuai standar.
2	Penetrasi	SNI 2456-2011	65,61	Min. 50	Masuk dalam kelas penetrasi 60/70, menandakan viskositas yang baik. Sesuai standar.
3	Titik Lembek	SNI 2434-2011	48	Min. 48	Tepat di batas minimum, cukup tahan panas, tapi perlu perhatian di daerah bersuhu tinggi. Masih sesuai.
4	Titik Nyala	SNI 2433-2011	332	Min. 232	Aman saat dipanaskan, tidak mudah terbakar. Sangat sesuai.
5	Titik Bakar	SNI 2433-2011	335	Min. 232	Tahan terhadap suhu tinggi saat proses

					produksi. Sangat sesuai.
6	Berat Jenis	SNI 2441-2011	1,041	$\geq 1,0$	Berat jenis ideal untuk perhitungan campuran aspal. Sesuai standar.

(Sumber: Data Olahan, 2025)

Nilai yang didapat dari pengujian karakteristik aspal yang terdapat pada tabel pada dasarnya telah memenuhi spesifikasi. Aspal pentrasi 60/70 dapat digunakan sebagai material pengikat dalam penelitian ini. Berikut pengaruh pengujian aspal terhadap campuran aspal beton :

2. Kadar Aspal Rencana (KAR)

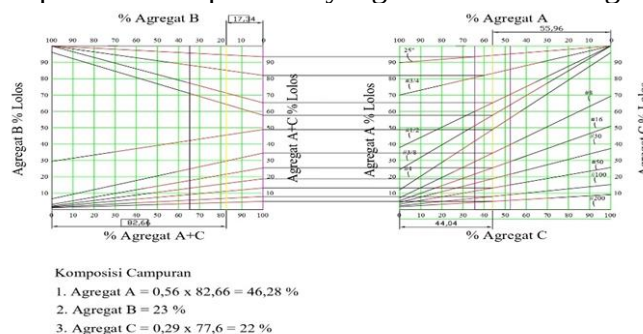
Kadar aspal yang digunakan untuk perancangan laboratorium adalah kadar aspal tengah atau ideal yang merupakan nilai tengah dari rentang kadar aspal di spesifikasi campuran. Kadar aspal tengah atau ideal dapat dihitung dengan rumus 4.1 berikut ini menurut RSNI M-01-2003.

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%Filler) + K \quad (4.1)$$

Keterangan:

- Pb : perkiraan kadar aspal rencana awal CA : nilai presentase agregat kasar
 FA : nilai presentase agregat halus
 Filler : bahan pengisi lolos saringan No.200
 K : Konstanta (0,5 – 1,0 untuk AC dan HRS)

Perhitungan kadar aspal rencana adalah suatu dasar untuk mencari acuan dalam mencari kadar aspal optimum. Adapun data yang dibutuhkan sebagai berikut:



Gambar 4. 1. Kadar Aspal Rencana Grafik Segi Empat

(Sumber: Data Olahan, 2025)

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

$$P_b = 0,035 (75) + 0,045 (22) + 0,18 (1) + 1$$

$$P_b = 5,2 \%$$

Presentase aspal yang digunakan untuk kadar aspal rencana adalah sebesar 5%. Aspal ini diharapkan dapat menutup seluruh bagian dari setiap gradasi agregat dan menjadikan suatu ikatan yang sempurna. Gradasi yang digunakan dalam pengujian ini adalah gradasi campuran aspal beton laston AC-Base.

3. Pembuatan Benda Uji KAR

Saat pembuatan benda uji KAR ini menggunakan lima variasi yaitu 4,0%, 4,5%, 5,0%, 5,5%, dan 6,0%. Variasi ini digunakan bertujuan untuk perbandingan mendapatkan kadar aspal optimum. Setiap variasi dibuat tiga buah benda uji sebagai perbandingan hasil. Adapun jumlah total benda uji KAR yang akan dibuat sebanyak 15 buah. Adapun berat yang

akan digunakan dalam pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut:

Tabel 2 Berat Material Uji KAR

Kadar Aspal	Berat						Satuan
	Total	Aspal	Agregat				
			Kasar	Halus	Filler	Total	
4	1200	48	864	253	34,6	1152	gram
4,5	1200	54	860	252	34,4	1146	gram
5	1200	60	855	251	34,2	1140	gram
5,5	1200	66	851	249	34,0	1134	gram
6	1200	72	846	248	33,8	1128	gram

(Sumber: Data Olahan, 2025)

Pengujian ini menggunakan 50 tumbukan untuk setiap lapisan benda uji, hal ini disebabkan penelitian ini direncanakan untuk jalan dengan lalu lintas sedang. Adapun gradasi yang digunakan pada pengujian ini merupakan gradasi laston AC-Base. Berikut merupakan berat gradasi campuran aspal laston AC-Base bisa dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 3 Berat Gradasi campuran Aspal Laston AC - Base

(Sumber: Data Olahan, 2025)

Ukuran Saringan		Tertahan %	Kadar Aspal Rencana					Satuan
No. Saringan	Ukuran (mm)		4	4,5	5	5,5	6	%
1 1/2"	37,5	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	gram
1"	25,0	4,7	54,38	54,10	53,81	53,53	53,25	gram
3/4 "	19	9,2	105,44	104,90	104,35	103,80	103,25	gram
1/2 "	12,5	14,9	171,54	170,64	169,75	168,86	167,96	gram
3/8 "	9,5	7,4	84,81	84,36	83,92	83,48	83,04	gram
No.4	4,75	25,8	297,74	296,19	294,64	293,09	291,54	gram
No.8	2,36	14,7	169,04	168,16	167,28	166,40	165,52	gram
No.16	1,18	5,8	67,12	66,77	66,43	66,08	65,73	gram
No.30	0,600	3,8	43,78	43,55	43,32	43,09	42,86	gram
No.50	0,300	3,1	36,15	35,96	35,78	35,59	35,40	gram
No.100	0,150	2,9	32,87	32,70	32,53	32,36	32,19	gram
No.200	0,075	1,8	20,45	20,34	20,24	20,13	20,02	gram
Pan		6,0	68,68	68,32	67,96	67,61	67,25	gram
Total		100,00	1152,00	1146,00	1140,00	1134,00	1128,00	gram
			48	54	60	66	72	gram
			1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	gram

1) Persiapan Bahan

Bahan yang digunakan terdiri dari agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi filler, dan aspal. Seluruh bahan dikeringkan dan ditimbang sesuai gradasi yang ditentukan.

2) Pencampuran

Bahan agregat dipanaskan terlebih dahulu sesuai suhu pencampuran ($\pm 150-160^{\circ}\text{C}$), kemudian dicampur dengan aspal panas hingga merata.

3) Pembuatan Benda Uji

Campuran aspal panas dimasukkan ke dalam cetakan Marshall dengan volume standar. Proses pemadatan dilakukan dengan 50 tumbukan di setiap sisi menggunakan alat tumbuk Marshall. Setelah itu, benda uji didinginkan pada suhu ruang.

4) Perendaman

Benda uji yang telah padat direndam dalam waterbath dengan suhu $\pm 60^{\circ}\text{C}$ selama 30–40 menit untuk simulasi kondisi lingkungan.

5) Pengujian Stabilitas dan Flow

Setelah perendaman, benda uji diletakkan di mesin uji Marshall. Beban diberikan secara vertikal hingga benda uji mencapai keruntuhan. Nilai stabilitas (kg) dan flow (mm).

6) Pengolahan Data

Hasil pengujian digunakan untuk menentukan nilai stabilitas maksimum, flow, Marshall Quotient (MQ), serta kadar aspal optimum (KAO) dengan menganalisis grafik hubungan antar parameter.

4. Pengujian Marshall dan Hasil KAR

Pengujian marshall bertujuan untuk mengetahui nilai karakteristik dari sampel dan menggunakan filler semen. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat marshall yang menghasilkan nilai stabilitas, flow, rongga terisi aspal (VFA), rongga dalam agregat (VMA), rongga dalam campuran (VIM) dan marshall quotient (MQ). Nilai ini yang akan digunakan untuk menentukan KAO dari setiap spesifikasi pengujian. Adapun nilai dari pengujian ini dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4 Hasil Pengujian Karakteristik KAR

Karakteristik	Spesifikasi	Kadar Aspal					Satuan
		4	4,5	5,0	5,5	6,0	
Stabilitas	Min. 1800 ⁽¹⁾	1947,30	1875,77	1889,98	2164,84	1794,33	kg
Flow	3-6 ⁽¹⁾	3,7	3,2	2,9	2,5	2,9	mm
VFA	Min. 65	54,43	58,71	65,55	64,22	73,77	%
VMA	Min. 13	12,36	16,51	16,12	15,91	16,45	%
VIM	3-5	5,64	7,21	5,61	5,71	4,44	%
MQ	Min. 300	538,32	589,54	648,15	886,01	631,89	Kg/mm

(Sumber: Data Olahan, 2025)

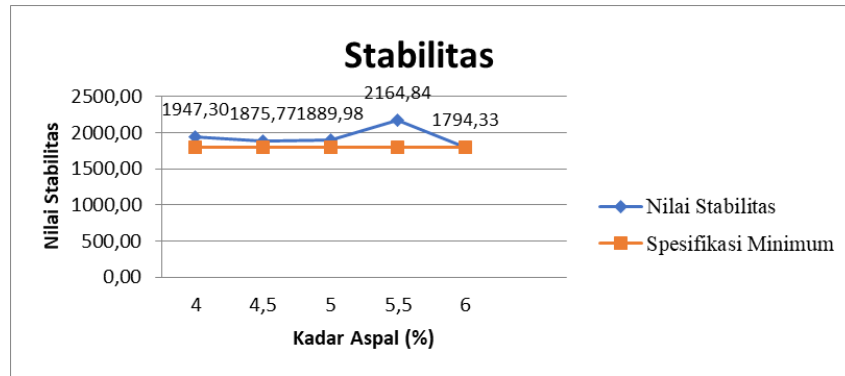
Berdasarkan hasil analisis parameter Marshall, kadar aspal optimum berada pada 6,0% karena menghasilkan stabilitas tertinggi, MQ terbesar, tapi dengan flow yang tidak masuk spesifikasi, serta nilai VIM, VFA, dan VMA yang sesuai spesifikasi standar.

5. Analisa Pengaruh KAR Terhadap Karakteristik Marshall

Analisis terhadap kadar aspal dalam penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi bagaimana variasi persentase aspal memengaruhi parameter seperti stabilitas, aliran (flow), VMA, VFA, VIM, serta Marshall Quotient (MQ). Hasil pengujian ini juga menjadi dasar dalam menentukan kadar aspal optimum. Karakteristik tersebut memiliki peranan penting dalam menentukan kinerja material saat diaplikasikan di lapangan.

1) Pengaruh Kadar Aspal Rencana Terhadap Stabilitas

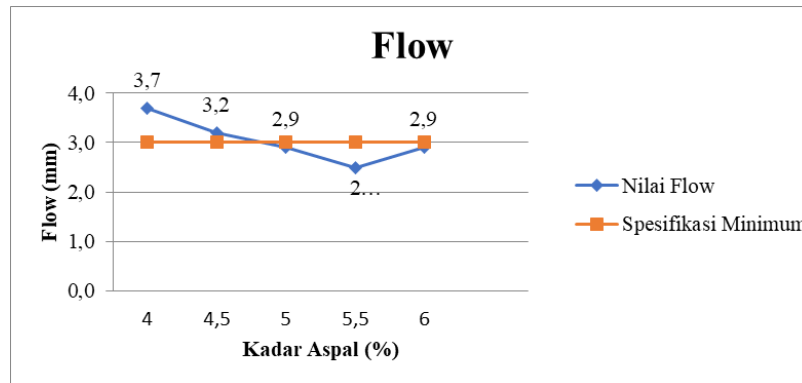
Stabilitas merupakan daya tahan campuran aspal terhadap beban sebelum mengalami deformasi, yang diukur dalam satuan kilogram (mengacu pada SNI-06-2489-1991). Berdasarkan pengertian tersebut, nilai stabilitas yang dibutuhkan harus disesuaikan dengan fungsi jalan dan volume lalu lintas yang akan dilayani oleh campuran aspal tersebut. Hasil pengujian nilai stabilitas ditampilkan pada grafik Gambar 4.5.1 berikut ini :



Gambar 2 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Stabilitas
(Sumber: Data Olahan, 2025)

2) Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Flow

Flow merupakan perubahan bentuk pada campuran aspal yang terjadi sebagai respons terhadap beban yang diberikan, sesuai dengan SNI-06-2489-1991. Definisi ini menunjukkan bahwa deformasi pada campuran aspal disebabkan oleh beban lalu lintas dan menjadi indikator tingkat fleksibilitas dari campuran aspal beton tersebut. Nilai hasil pengujian flow ditampilkan pada Gambar 4.5.2 berikut :

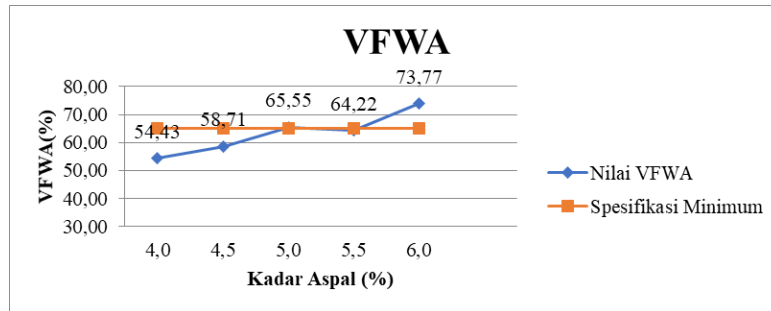


Gambar 3 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Flow
(Sumber: Data Olahan, 2025)

Pada nilai flow yang dapat kita lihat yang rendah dan nilai stabilitas yang tinggi mengakibatkan campuran aspal beton menjadi kaku atau getas, sedangkan jika flow nya tinggi dan nilai stabilitasnya yang rendah mengakibatkan campuran aspal beton yang plastis dan mudah untuk berubah bentuk. Flow tertinggi terdapat pada variasi 4 % dengan nilai stabilitasnya yang juga tinggi dengan begitu tidak mengalami perubahan bentuk karena plastis dan juga tidak getas akibat kekakuan campuran aspal beton. Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Flow.

3) Pengaruh Kadar Aspal Terhadap VFA

VFA (Void Filled with Asphalt) merupakan persentase volume rongga udara dalam campuran aspal beton padat yang telah terisi oleh aspal. Besarnya nilai VFA dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti suhu saat pemadatan, kadar aspal yang digunakan, tipe aspal, serta gradasi agregat. Hasil pengujian terkait nilai VFA disajikan pada Gambar 4.5.3 berikut ini :

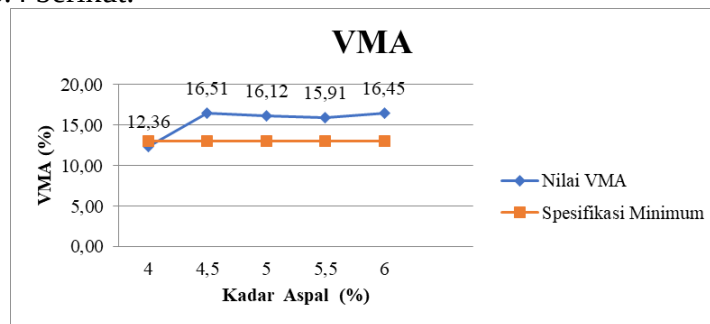


Gambar 4. 4 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap VFA
(Sumber: Data Olahan, 2025)

Di lihat dari nilai VFA yang didapat dari hasil pengujian bahwa semakin banyak penambahan kadar aspal maka semakin meningkatnya nilai VFA. Pada variasi KAR 6 % hasil tertinggi dan pada variasi KAR 4 % terendah yang tidak memasuki spesifikasi yang direncanakan.

4) Pengaruh Kadar Aspal Terhadap VMA

Void in Mineral Aggregate (VMA) merupakan volume pori yang terdapat di antara butiran agregat mineral dalam campuran beton padat, yang mencakup rongga udara serta volume aspal efektif. Nilai VMA yang diperoleh berdasarkan hasil pengujian ditampilkan pada Gambar 4.5.4 berikut.

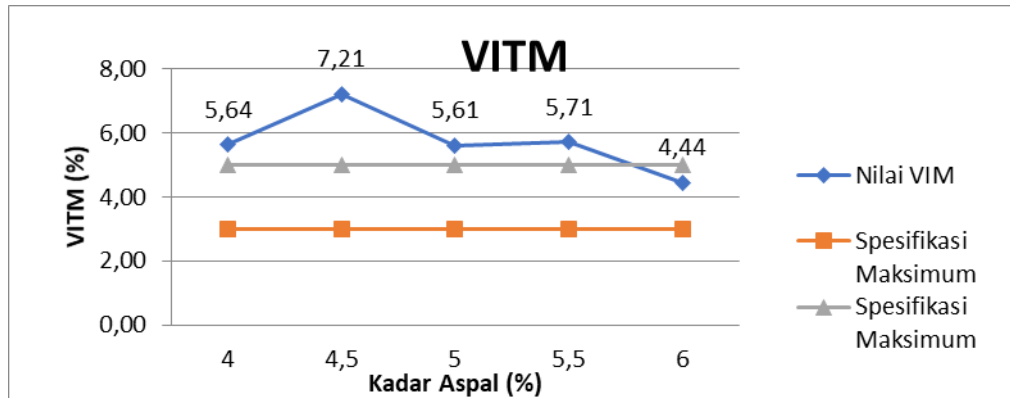


Gambar 5 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap VMA
(Sumber: Data Olahan, 2025)

Semua nilai VMA berada di atas ambang batas minimum 13%, sehingga campuran agregat dinilai cukup longgar untuk menerima aspal. Nilai VMA sedikit menurun dari kadar 4%, lalu meningkat lagi pada kadar 4,5% dan 5%. Penurunan awal mencerminkan semakin rapatnya susunan agregat karena aspal mulai mengisi rongga, namun peningkatan kembali menunjukkan dominasi volume aspal terhadap total campuran.

5) Pengaruh Kadar Aspal Terhadap VIM

Void in Mix (VIM) merupakan persentase volume pori yang terdapat dalam campuran. Peningkatan kadar aspal cenderung menyebabkan penurunan persentase pori dalam campuran. Selain itu, pemilihan gradasi agregat dan tingkat pemadatan turut memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai VIM. Hasil pengujian terkait ditampilkan pada Gambar 4.5.5 berikut:



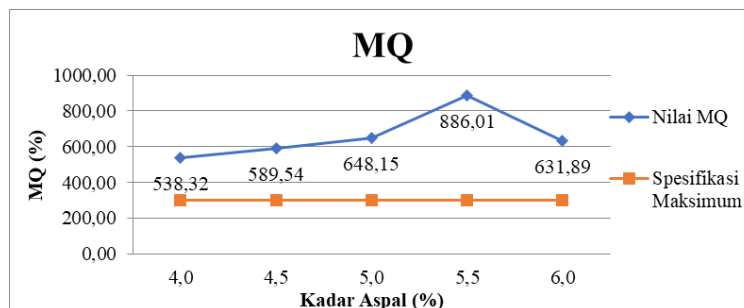
Gambar 6 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap VIM

(Sumber: Data Olahan, 2025)

Nilai VIM yang kurang dari 3% mengakibatkan campuran aspal beton menjadi plastis, sedangkan nilai VIM yang lebih dari 5% mengakibatkan sifat campuran aspal beton menjadi bleeding atau aspal naik ke permukaan. Pada nilai kadar aspal 4 % merupakan nilai tertinggi sampai melewati batas maksimal dan yang terendah di 6 % terendah yang tidak sampai pada batas minimum dari spesifikasi yang direncanakan. Maka semakin bertambahnya kadar aspal nilai VIM akan semakin menurun.

6) Pengaruh Kadar Aspal Terhadap MQ

Marshall Quotient (MQ) merupakan parameter yang digunakan untuk menyatakan tingkat kekakuan dan kelenturan pada campuran aspal beton keras, yang diperoleh melalui pengujian dengan alat Marshall. Nilai MQ yang tinggi menunjukkan bahwa campuran memiliki karakteristik yang kaku, sedangkan nilai MQ yang rendah mengindikasikan bahwa campuran bersifat terlalu fleksibel. Hasil pengujian nilai MQ disajikan pada Gambar 4.5.6 berikut :



Gambar 7 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap MQ

(Sumber: Data Olahan, 2025)

Pada grafik diatas dapat kita lihat bahwa seluruh nilai MQ memenuhi syarat spesifikasi, dan dari hasil diatas dapat kita analisa potensi terjadinya lendutan yang mengakibatkan retakan campuran aspal beton yang terjadi pada setiap hasil dari variasi kadar aspal. Nilai MQ tertinggi adalah pada variasi KAR 5,5% dan terendah pada 4 % dengan nilai 538,32 kg

6. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal optimum merupakan jumlah aspal yang digunakan dalam campuran guna memenuhi parameter-parameter desain campuran, seperti stabilitas, flow, VMA, VIM, VFA, dan MQ. Penetapan kadar aspal optimum bertujuan untuk menentukan besarnya kadar aspal efektif yang dibutuhkan dalam campuran, yang selanjutnya digunakan dalam pembuatan benda uji baru dengan komposisi agregat yang sama. Diagram batang serta persentase kadar aspal berdasarkan masing-masing spesifikasi ditampilkan pada Gambar berikut :

No.	Karakteristik Marshall	Spesifikasi*)	Hasil Pengujian				
			4	4,5	5	5,5	6
1	Density	-	2,355	2,290	2,322	2,340	2,367
2	VMA (%)	Min.13	12,36	16,51	16,12	15,91	16,45
3	VITM (%)	Min.3-Maks.5	5,64	7,21	7,21	5,71	4,44
4	VFWA (%)	Min.65	54,43	58,71	65,55	64,22	73,77
5	Stabilitas (kg)	Min.1.800	1947,30	1875,77	1889,98	2164,84	1794,33
6	Flow (mm)	Min.3 -Maks.6	3,7	3,2	2,9	2,5	2,9
7	MQ (kg/mm)	Min.300	538,32	589,54	648,15	886,01	631,89

Gambar 8 Grafik Batang Menentukan KAO
(Sumber: Data Olahan, 2025)

Keterangan

Memenuhi Spesifikasi

7. Pengujian Marshall dan Hasil Kadar Aspal KAO

Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui karakteristik campuran aspal yang dilakukan melalui analisis terhadap benda uji yang telah disiapkan. Pada penelitian ini menggunakan bahan pengisi (filler) berupa semen dengan jumlah tiga sampel yang akan dibuat untuk setiap variasi. Adapun jumlah total sampel dalam penelitian ini sebanyak 24 buah. Hasil pengujian karakteristik dari masing-masing sampel disajikan dalam tabel berikut ini :

Tabel 5 Hasil Perhitungan KAO

Jenis Variasi	Variasi	Kadar Aspal	Stabilitas	Flow	VFA	VMA	VIM	Marshall Quotient
		(%)	(kg)	(mm)	(%)	(%)	(%)	(kg/mm)
		Rata-rata Hasil Perhitungan						
Dengan Direndam	1 Hari	6	2635,59	3,12	76,57	17,38	3,94	846,03
	7 Hari	6	2126,43	3,48	70,36	18,44	5,83	610,67
	30 Hari	6	1668,44	3,54	61,59	20,10	7,75	470,88
Tanpa Direndam	1 Hari	6	1837,96	3,62	69,92	18,32	5,69	508,24
	7 Hari	6	1946,50	3,54	74,19	17,24	4,46	549,43
	30 Hari	6	2238,07	3,40	72,30	17,22	4,23	658,19
Rendam Air Panas	30 Menit	6	2623,13	2,98	74,59	17,18	4,38	880,38
	60 Menit	6	2433,62	3,22	73,94	17,31	4,52	765,34

(Sumber: Data Olahan, 2025)

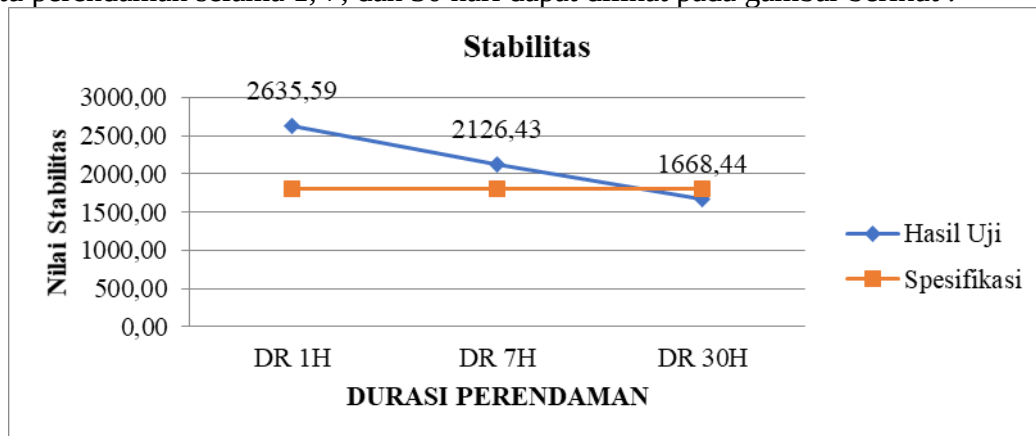
Berdasarkan hasil pengujian campuran aspal dengan variasi perendaman, dapat disimpulkan bahwa durasi perendaman dalam air berpengaruh signifikan terhadap karakteristik mekanis campuran. Pada kondisi perendaman selama 1 hingga 30 hari, terjadi penurunan stabilitas secara bertahap dari 2635,59 kg menjadi 1668,44 kg, serta penurunan nilai Marshall Quotient dari 846,03 kg/mm menjadi 470,88 kg/mm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama campuran terendam air, semakin rendah daya tahannya terhadap beban. Sebaliknya, pada variasi tanpa perendaman, stabilitas cenderung meningkat seiring waktu, dengan nilai tertinggi sebesar 2238,07 kg pada hari ke-30, dan Marshall Quotient sebesar 658,19 kg/mm, menandakan proses pemadatan alami curing memberikan pengaruh positif terhadap kekuatan campuran. Sementara itu, perlakuan perendaman dengan air panas selama 30 dan 60 menit justru memberikan hasil yang sangat baik, dengan stabilitas tinggi 2623,13 kg dan 2433,62 kg serta nilai Marshall Quotient tertinggi 880,38 kg/mm pada 30 menit. Dengan demikian, perendaman jangka pendek menggunakan air panas dapat meningkatkan performa campuran, sedangkan perendaman jangka panjang dalam air berdampak negatif terhadap kekuatan dan daya tahan campuran aspal.

8. Analisa Pengaruh Variasi Rendaman Terhadap Karakteristik Marshall

Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi rendaman terhadap karakteristik Marshall pada campuran aspal. Parameter yang dianalisis meliputi nilai stabilitas, flow, Voids in Mineral Aggregate (VMA), Voids Filled with Asphalt (VFA), Voids in Mix (VIM), serta Marshall Quotient (MQ). Berikut analisa pengujian ini adalah sebagai berikut :

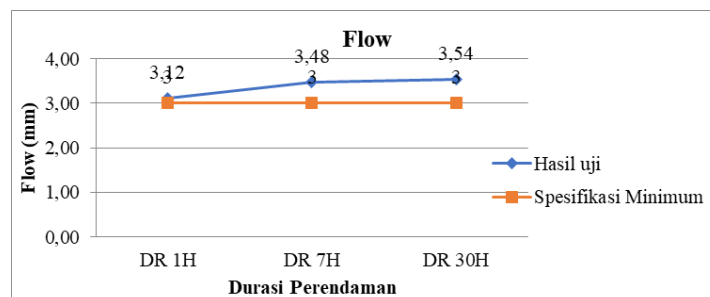
1) Pengaruh Variasi Waktu Rendaman Terhadap Marshall

Nilai-nilai yang diperoleh dari hasil pengujian Marshall pada benda uji dengan variasi waktu perendaman selama 1, 7, dan 30 hari dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 9 Grafik Stabilitas Pengaruh Variasi Dengan Rendaman
(Sumber: Data Olahan, 2025)

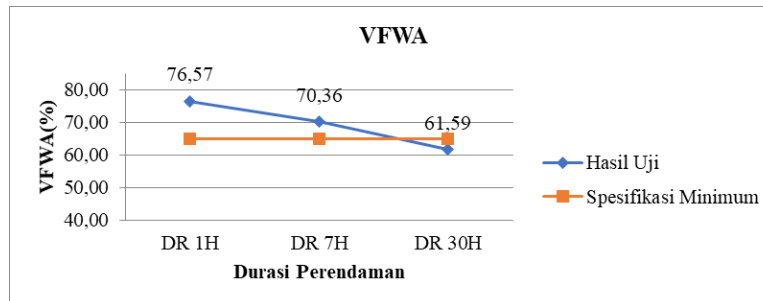
Berdasarkan grafik stabilitas terhadap durasi perendaman, terlihat bahwa nilai stabilitas Marshall campuran aspal mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu perendaman. Pada perendaman selama 1 hari, nilai stabilitas mencapai 2635,59 kg, yang berada jauh di atas batas spesifikasi minimum sebesar 1800 kg. Namun, setelah 7 hari perendaman, stabilitas turun menjadi 2126,43 kg, dan pada perendaman 30 hari turun lebih lanjut hingga 1668,44 kg, yang berada di bawah batas spesifikasi. Penurunan ini menunjukkan bahwa daya tahan atau kekuatan struktural campuran aspal terhadap beban berkurang akibat perendaman dalam air dalam jangka waktu yang lebih lama. Hal ini menegaskan bahwa stabilitas Marshall, sebagai indikator utama kekuatan dan ketahanan deformasi campuran aspal, sangat dipengaruhi oleh durasi perendaman, di mana paparan air yang lebih lama cenderung melemahkan ikatan antar partikel dan mengurangi kekuatan campuran.



Gambar 10 Grafik Flow Pengaruh Variasi Dengan Rendaman
(Sumber: Data Olahan, 2025)

Berdasarkan grafik di atas, terlihat bahwa nilai flow campuran aspal cenderung mengalami peningkatan seiring bertambahnya durasi perendaman. Pada perendaman 1 hari, nilai flow tercatat sebesar 3,12 mm, kemudian meningkat menjadi 3,48 mm pada 7 hari, dan mencapai 3,54 mm setelah 30 hari. Seluruh nilai flow yang diperoleh masih berada di atas spesifikasi minimum sebesar 3,00 mm, yang menunjukkan bahwa campuran masih

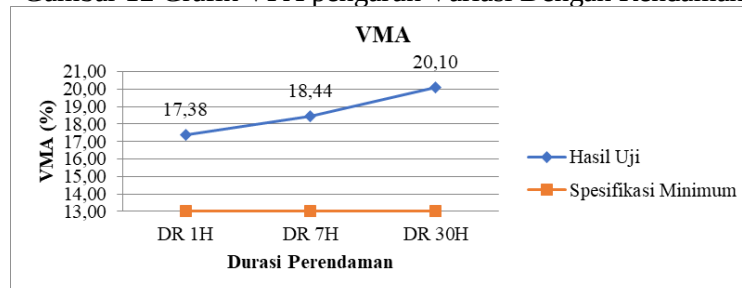
memenuhi syarat kelenturan minimum. Namun, peningkatan nilai flow ini juga menandakan kecenderungan campuran menjadi lebih plastis atau lunak setelah perendaman dalam jangka waktu lama, yang dapat berdampak pada menurunnya kemampuan campuran menahan deformasi permanen. Dengan demikian, meskipun nilai flow masih dalam batas spesifikasi, peningkatan ini menunjukkan potensi penurunan kekakuan struktural campuran aspal akibat pengaruh perendaman.



Gambar 11 Grafik VFA Pengaruh Variasi Dengan Rendaman
(Sumber: Data Olahan, 2025)

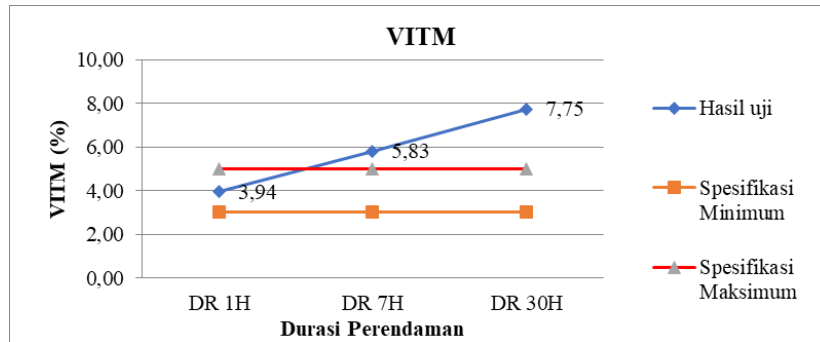
Berdasarkan grafik di atas, nilai VFA (Voids Filled with Asphalt) menunjukkan tren penurunan seiring dengan bertambahnya durasi perendaman. Pada perendaman 1 hari, nilai VFA mencapai 76,57%, kemudian turun menjadi 70,36% pada 7 hari, dan lebih lanjut menurun hingga 61,59% setelah 30 hari. Nilai VFA pada perendaman 1 dan 7 hari masih berada di atas batas spesifikasi minimum sebesar 65%, namun pada perendaman 30 hari, nilainya sudah berada di bawah ambang batas tersebut. Penurunan nilai VFA ini mengindikasikan bahwa persentase rongga yang terisi oleh aspal semakin sedikit akibat pengaruh air, yang berdampak pada berkurangnya daya ikat antara agregat dan aspal. Hal ini dapat menurunkan daya tahan campuran terhadap deformasi dan kerusakan dini, serta mempercepat kerusakan struktural jika terus terpapar kondisi lingkungan basah.

Gambar 12 Grafik VMA pengaruh Variasi Dengan Rendaman



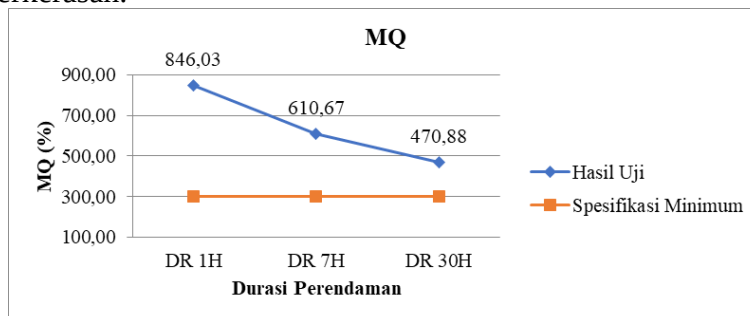
(Sumber: Data Olahan, 2025)

Berdasarkan grafik di atas, nilai VMA (Voids in Mineral Aggregate) menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya durasi perendaman. Pada perendaman 1 hari, nilai VMA tercatat sebesar 17,38%, kemudian meningkat menjadi 18,44% pada 7 hari, dan mencapai 20,10% setelah 30 hari. Seluruh nilai VMA yang diperoleh berada jauh di atas spesifikasi minimum sebesar 13%, yang berarti volume rongga dalam agregat masih cukup untuk menampung aspal dan udara. Peningkatan nilai VMA ini dapat menunjukkan adanya pelemahan pada struktur agregat akibat penetrasi air, yang menyebabkan ikatan antar partikel melemah dan menghasilkan ruang kosong lebih besar dalam campuran. Meskipun nilai VMA memenuhi spesifikasi, tren peningkatan ini dapat menjadi indikator berkurangnya kepadatan dan kekompakan campuran, yang berpotensi menurunkan daya tahan terhadap beban lalu lintas dan kerusakan akibat cuaca dalam jangka panjang.



Gambar 13 Grafik VIM pengaruh variasi dengan rendaman
(Sumber: Data Olahan, 2025)

Berdasarkan grafik di atas, nilai VIM (Voids in Mix) atau rongga dalam campuran menunjukkan peningkatan signifikan seiring dengan bertambahnya durasi perendaman. Pada perendaman 1 hari nilai VIM berada pada 3,94%, masih dalam rentang spesifikasi yaitu antara 3% hingga 5%. Namun, pada perendaman 7 hari, nilai meningkat menjadi 5,83% dan melebihi batas maksimum, sedangkan pada perendaman 30 hari nilai VIM melonjak drastis menjadi 7,75%. Kenaikan nilai VIM ini mencerminkan peningkatan volume rongga dalam campuran akibat berkurangnya kepadatan dan potensi pelepasan butir agregat karena efek perendaman air yang berkepanjangan. Nilai VIM yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penurunan kekedapan campuran terhadap air dan udara, mempercepat proses oksidasi aspal, serta menurunkan ketahanan terhadap kerusakan akibat beban berulang dan kondisi lingkungan, sehingga berdampak negatif terhadap kinerja jangka panjang lapis perkerasan.

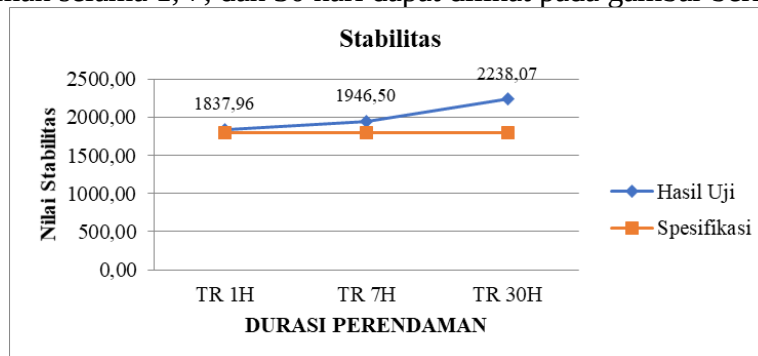


Gambar 14 Grafik MQ Pengaruh Variasi Dengan Rendaman
(Sumber: Data Olahan, 2025)

Berdasarkan grafik Marshall Quotient (MQ) di atas, terlihat bahwa nilai MQ cenderung menurun seiring dengan bertambahnya durasi perendaman. Pada durasi perendaman 1 hari, nilai MQ mencapai 846,03 kg/mm, kemudian mengalami penurunan menjadi 610,67 kg/mm pada perendaman 7 hari dan semakin menurun menjadi 470,88 kg/mm pada perendaman 30 hari. Penurunan nilai MQ ini menunjukkan menurunnya kekakuan dan ketahanan campuran aspal terhadap deformasi permanen akibat meningkatnya kadar air yang meresap ke dalam campuran. Nilai MQ yang rendah mencerminkan menurunnya kualitas ikatan antara agregat dan aspal, yang berdampak pada menurunnya ketahanan terhadap beban lalu lintas. Dengan demikian, semakin lama durasi perendaman, maka semakin berkurang stabilitas struktural campuran aspal, yang berpotensi mempercepat terjadinya kerusakan dini pada perkerasan jalan.

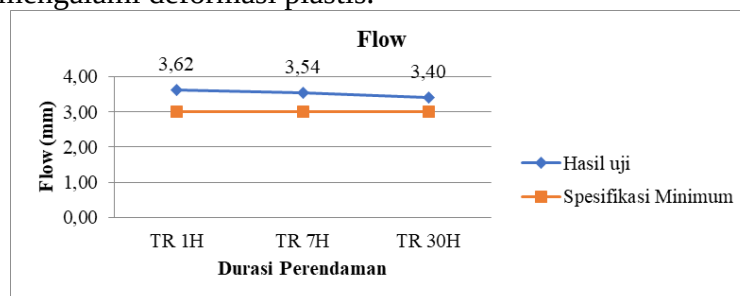
2) Pengaruh Variasi Tanpa Rendaman Terhadap Marshall

Nilai-nilai yang diperoleh dari hasil pengujian Marshall pada benda uji dengan variasi waktu perendaman selama 1, 7, dan 30 hari dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 15 Grafik Stabilitas Pengaruh Variasi Tanpa Rendaman
(Sumber: Data Olahan, 2025)

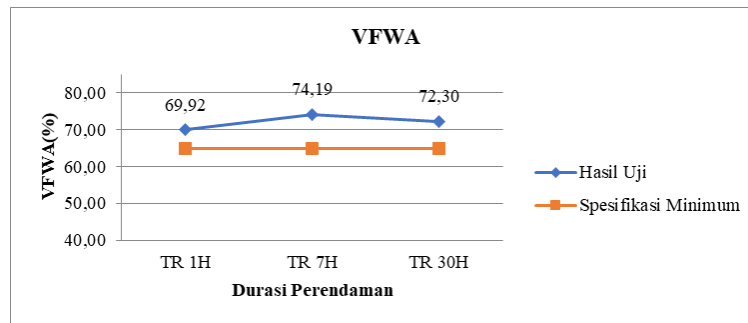
Berdasarkan grafik stabilitas Marshall untuk benda uji tanpa perendaman, terlihat bahwa nilai stabilitas cenderung meningkat seiring bertambahnya durasi penyimpanan sebelum pengujian, yaitu dari 1 hari hingga 30 hari. Pada 1 hari, nilai stabilitas sebesar 1837,06 kg, kemudian meningkat menjadi 1946,50 kg pada 7 hari, dan mencapai 2238,07 kg pada 30 hari. Seluruh hasil uji menunjukkan nilai di atas batas minimum spesifikasi 1800 kg, yang menandakan bahwa campuran aspal memiliki daya tahan struktural yang baik terhadap beban lalu lintas. Kenaikan nilai stabilitas ini mengindikasikan bahwa proses curing atau pemadatan yang terus berlangsung secara alami dapat memperkuat ikatan antar agregat dan aspal, sehingga menghasilkan struktur campuran yang lebih kaku dan tahan deformasi. Hal ini menunjukkan bahwa dalam kondisi kering tanpa perendaman, kekuatan Marshall cenderung meningkat dan mendukung performa campuran aspal dalam menahan beban sebelum mengalami deformasi plastis.



Gambar 16 Grafik Flow Pengaruh Variasi Tanpa Rendaman
(Sumber: Data Olahan, 2025)

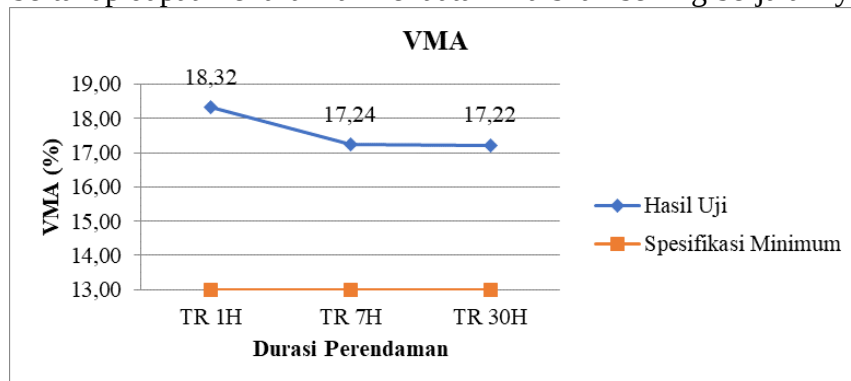
Berdasarkan grafik nilai flow Marshall untuk benda uji tanpa perendaman, terlihat adanya penurunan nilai flow seiring bertambahnya durasi penyimpanan sebelum pengujian. Pada 1 hari, nilai flow tercatat sebesar 3,62 mm, kemudian menurun menjadi 3,54 mm pada 7 hari, dan semakin menurun menjadi 3,40 mm pada 30 hari. Meskipun terjadi penurunan, seluruh nilai flow masih berada di atas batas spesifikasi minimum sebesar 3 mm, yang berarti campuran masih memenuhi standar kelenturan minimum. Penurunan nilai flow ini menunjukkan bahwa campuran aspal menjadi lebih kaku seiring waktu, kemungkinan akibat proses pemadatan lanjutan atau penguapan pelarut yang menyebabkan agregat dan aspal semakin mengikat erat. Kekakuan yang meningkat ini dapat berimplikasi positif terhadap stabilitas, namun perlu dijaga agar tidak terlalu rendah agar campuran tetap memiliki fleksibilitas yang cukup untuk mengakomodasi deformasi akibat beban lalu lintas tanpa

retak.



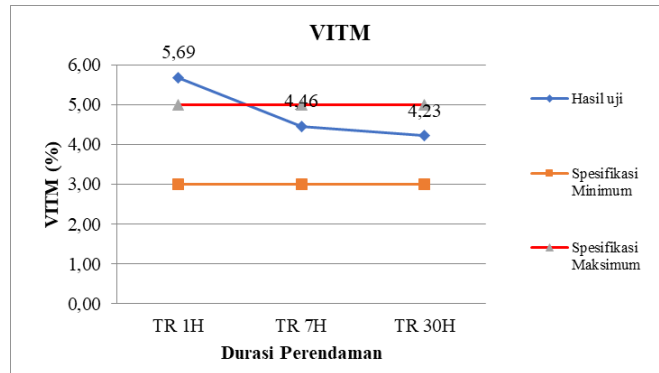
Gambar 17 Grafik VFA pengaruh Variasi Tanpa Rendaman
(Sumber: Data Olahan, 2025)

Berdasarkan grafik VFWA terhadap durasi perendaman, terlihat bahwa nilai VFWA meningkat dari 69,92% pada perendaman 1 hari menjadi 74,19% pada 7 hari, kemudian sedikit menurun menjadi 72,30% pada 30 hari. Seluruh nilai tersebut tetap berada di atas spesifikasi minimum sebesar 65%, yang menunjukkan bahwa rongga dalam campuran terisi dengan baik oleh aspal, sehingga struktur campuran cukup padat. Semakin tinggi nilai VFWA yang masih dalam batas optimal menunjukkan bahwa aspal mampu mengisi rongga agregat secara efektif, yang berkontribusi terhadap peningkatan kohesi antar partikel dan daya ikat campuran. Hal ini mendukung peningkatan nilai stabilitas Marshall, karena campuran yang lebih padat dan homogen akan lebih tahan terhadap beban lalu lintas. Penurunan ringan pada perendaman 30 hari masih dalam batas aman, namun mengindikasikan adanya potensi pelemahan jika perendaman berlangsung terlalu lama, yang secara bertahap dapat menurunkan kekuatan Marshall seiring berjalannya waktu.



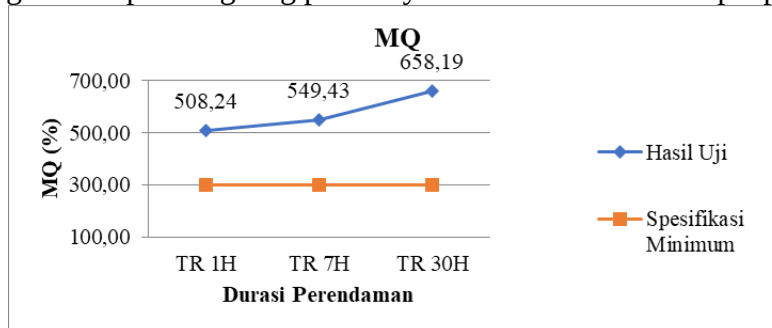
Gambar 18 Grafik VMA pengaruh Variasi Tanpa Rendaman
(Sumber: Data Olahan, 2025)

Grafik tersebut menunjukkan perubahan nilai Void in Mineral Aggregate (VMA) terhadap durasi waktu setelah pencampuran pada benda uji Marshall tanpa dilakukan perendaman. Terlihat bahwa nilai VMA mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu, dari 18,32% pada 1 hari menjadi 17,24% pada 7 hari, lalu turun sedikit lagi menjadi 17,22% pada 30 hari. Penurunan ini menunjukkan bahwa campuran aspal cenderung semakin padat dan stabil karena adanya proses redistribusi dan penyusunan ulang partikel agregat serta penyebaran aspal yang lebih merata setelah pencampuran. Meskipun mengalami penurunan, seluruh nilai VMA masih berada di atas spesifikasi minimum sebesar 13%, yang berarti campuran masih memenuhi standar teknis dan tetap layak digunakan. Dalam kaitannya dengan kekuatan Marshall, nilai VMA yang cukup tinggi namun tidak berlebihan menunjukkan bahwa ruang kosong antar agregat masih cukup untuk menampung aspal dan memberikan ikatan yang kuat, namun tidak terlalu banyak sehingga mencegah terjadinya.



Gambar 19 Grafik VIM Pengaruh Variasi Tanpa Rendaman
(Sumber: Data Olahan, 2025)

Grafik VITM (Void in Total Mix) menunjukkan perubahan kadar rongga udara dalam campuran aspal terhadap waktu setelah pencampuran, tanpa dilakukan perendaman. Terlihat bahwa nilai VITM mengalami penurunan secara bertahap dari 5,69% pada 1 hari, menjadi 4,46% pada 7 hari, dan turun lagi menjadi 4,23% pada 30 hari. Pada 1 hari, nilai VITM melebihi batas spesifikasi maksimum yaitu 5,69%, yang mengindikasikan bahwa campuran masih longgar dan belum padat, sehingga berpotensi menyerap udara berlebih dan menurunkan ketahanan terhadap kerusakan akibat kelembaban atau beban lalu lintas. Namun seiring berjalannya waktu, nilai VITM turun dan masuk ke dalam rentang spesifikasi yang ditetapkan antara 3% hingga 5%, yang menunjukkan bahwa campuran menjadi semakin padat dan stabil. Penurunan ini kemungkinan disebabkan oleh redistribusi aspal yang lebih merata dan pergeseran posisi agregat yang membuat rongga udara dalam campuran berkurang. Dalam konteks kekuatan Marshall, nilai VITM yang berada dalam kisaran ideal sangat penting karena dapat menjaga keseimbangan antara kerapatan dan kepadatan, yang berdampak langsung pada daya tahan dan stabilitas lapis perkerasan.



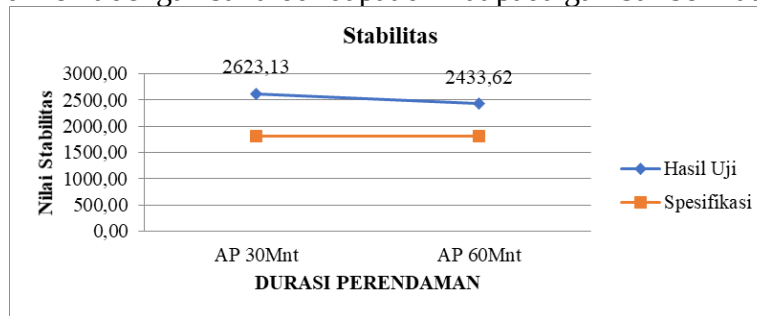
Gambar 20 Grafik MQ Pengaruh Variasi Tanpa Rendaman
(Sumber: Data Olahan, 2025)

MQ merupakan parameter penting yang menunjukkan kekakuan campuran aspal, dihitung dari perbandingan antara nilai stabilitas Marshall terhadap nilai aliran (deformasi plastis). Semakin tinggi nilai MQ, maka campuran aspal semakin kaku dan stabil terhadap beban lalu lintas. Berdasarkan grafik, nilai MQ mengalami peningkatan bertahap dari 508,24 pada 1 hari, menjadi 549,43 pada 7 hari, dan terus meningkat hingga mencapai 658,19 pada 30 hari. Seluruh nilai ini jauh berada di atas batas spesifikasi minimum sebesar 300, yang berarti semua sampel telah memenuhi standar ketahanan minimum terhadap pendingin. Peningkatan nilai MQ ini menandakan bahwa seiring berjalannya waktu, campuran aspal mengalami pemadatan alami dan ikatan antar partikel menjadi lebih kuat, sehingga campuran lebih stabil dan memiliki daya tahan yang lebih tinggi terhadap beban. Dalam konteks kekuatan Marshall, peningkatan MQ sangat menguntungkan karena menunjukkan bahwa campuran tidak hanya stabil secara struktural tetapi juga tidak mudah

mengalami penyelesaian. Hal ini penting untuk menjamin umur panjang lapisan perkerasan aspal, terutama pada jalur yang mengalami beban berulang seperti kendaraan berat. Dengan demikian, grafik ini menggambarkan bahwa durasi waktu setelah pencampuran berpengaruh positif terhadap peningkatan kualitas dan kekuatan mekanik campuran aspal.

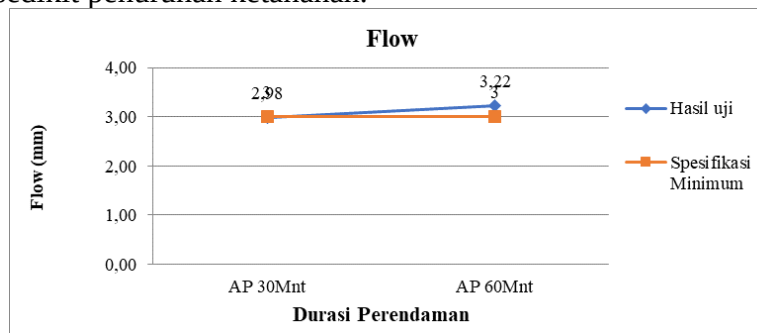
3) Pengaruh Variasi Rendaman Air Panas Terhadap Marshall

Nilai-nilai yang diperoleh dari hasil pengujian Marshall pada benda uji dengan variasi waktu 30 dan 60 menit dengan suhu 60° dapat dilihat pada gambar berikut :



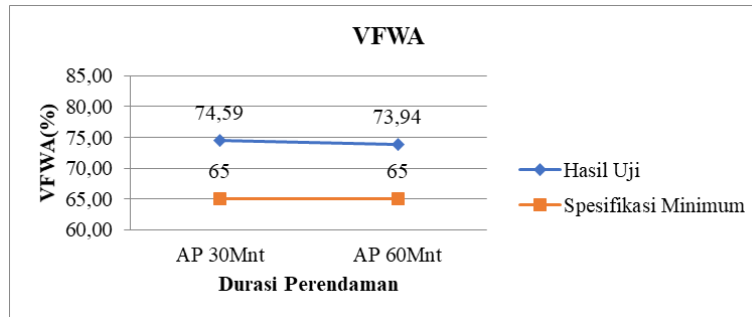
Gambar 21 Grafik Stabilitas Pengaruh Variasi Air Panas
(Sumber: Data Olahan, 2025)

Berdasarkan grafik stabilitas dari pengujian Marshall pada benda uji aspal yang direndam selama 30 menit dan 60 menit, terlihat bahwa nilai stabilitas mengalami penurunan dari 2623,13 kg menjadi 2433,62 kg. Meskipun terdapat penurunan, kedua nilai tersebut masih berada di atas batas minimum spesifikasi yaitu 1800 kg, yang menunjukkan bahwa kekuatan Marshall dari campuran aspal ini masih memenuhi standar ketahanan terhadap beban lalu lintas. Penurunan nilai stabilitas setelah perendaman mengindikasikan adanya pengaruh negatif dari air terhadap daya ikat antara agregat dan aspal. Namun demikian, karena nilai stabilitas tetap berada di atas ambang batas, maka campuran ini masih layak digunakan dari segi kekuatan Marshall, walaupun durasi perendaman yang lebih lama menyebabkan sedikit penurunan ketahanan.



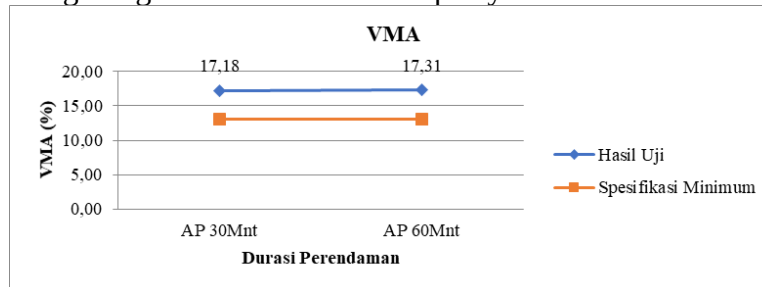
Gambar 22 Grafik Flow Pengaruh Variasi Rendaman Air Panas
(Sumber: Data Olahan, 2025)

Berdasarkan grafik flow dari pengujian Marshall pada benda uji aspal yang direndam selama 30 menit dan 60 menit, terlihat bahwa nilai flow mengalami peningkatan dari 2,98 mm menjadi 3,22 mm. Nilai flow ini menunjukkan tingkat deformasi plastis campuran aspal saat menerima beban. Meskipun terjadi peningkatan, nilai flow pada kedua durasi masih berada dalam kisaran spesifikasi (yakni sekitar 3 mm), yang berarti campuran masih memiliki fleksibilitas yang baik. Namun, peningkatan flow akibat durasi perendaman yang lebih lama dapat mengindikasikan bahwa aspal mulai kehilangan kekakuannya, sehingga lebih mudah mengalami deformasi. Hal ini menunjukkan bahwa durasi perendaman berdampak terhadap elastisitas campuran, meskipun dalam kasus ini masih berada dalam batas toleransi kekuatan Marshall.



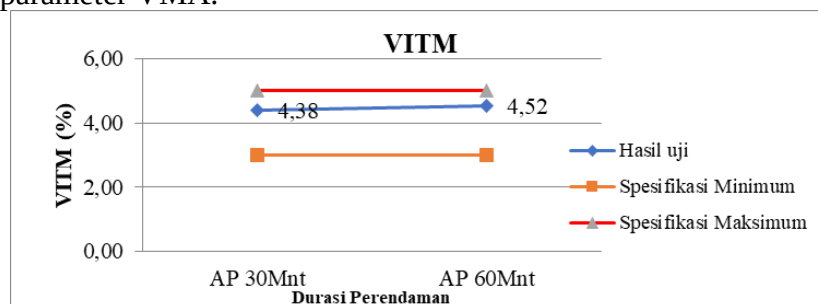
Gambar 23 Grafik VFA Pengaruh Variasi Rendaman Air Panas
(Sumber: Data Olahan, 2025)

Berdasarkan grafik nilai VFWA (Void Filled with Asphalt) pada benda uji Marshall yang direndam selama 30 menit dan 60 menit, terlihat adanya sedikit penurunan dari 74,59% menjadi 73,94%. Meskipun mengalami penurunan, kedua nilai tersebut masih berada jauh di atas batas minimum spesifikasi yaitu 65%, yang menunjukkan bahwa rongga dalam campuran masih terisi aspal dengan baik. Tingginya nilai VFWA menandakan bahwa aspal memiliki kemampuan pelapisan agregat yang baik dan daya tahan terhadap masuknya air, yang penting dalam menjaga kekuatan dan ketahanan jangka panjang campuran aspal., campuran masih tergolong stabil dan memenuhi persyaratan kekuatan Marshall.



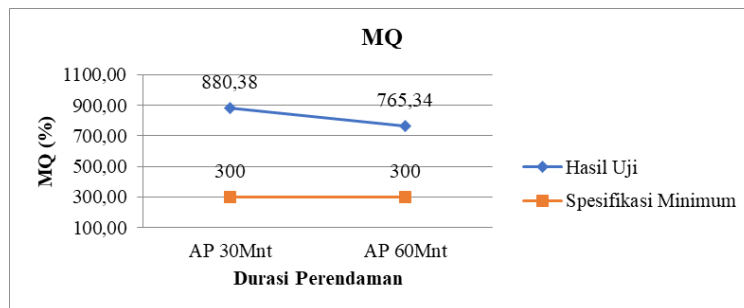
Gambar 24 Grafik VMA Pengaruh Variasi Rendaman Air Panas
(Sumber: Data Olahan, 2025)

Berdasarkan grafik nilai VMA (Void in Mineral Aggregate) pada benda uji Marshall dengan perendaman selama 30 menit dan 60 menit, terlihat bahwa nilai VMA mengalami sedikit peningkatan dari 17,18% menjadi 17,31%. Kedua nilai tersebut berada jauh di atas spesifikasi minimum sebesar 13%, yang menunjukkan bahwa volume rongga antar agregat cukup besar untuk diisi oleh aspal, sehingga campuran memiliki potensi yang baik dalam hal daya tahan terhadap deformasi dan kestabilan. Peningkatan kecil nilai VMA ini setelah perendaman dapat mengindikasikan adanya sedikit pelonggaran struktur agregat akibat paparan air panas, namun tidak mengurangi performa secara signifikan. Dengan demikian, campuran aspal tetap memenuhi persyaratan kekuatan Marshall dan dinilai layak digunakan berdasarkan parameter VMA.



Gambar 25 Grafik VITM Pengaruh Variasi Rendaman Air Panas
(Sumber: Data Olahan, 2025)

Berdasarkan grafik VITM (Void in Total Mix) pada benda uji Marshall dengan durasi perendaman 30 menit dan 60 menit, terlihat bahwa nilai VITM mengalami sedikit peningkatan dari 4,38% menjadi 4,52%. Kedua nilai tersebut masih berada dalam batas toleransi dan di atas spesifikasi minimum sebesar 3%, tetapi juga berada di bawah batas maksimum yang umumnya sekitar 5%. Nilai VITM yang meningkat menunjukkan bahwa terdapat sedikit peningkatan volume rongga total dalam campuran, yang dapat mengindikasikan berkurangnya kepadatan akibat perendaman. Hal ini bisa berdampak terhadap daya tahan terhadap air dan umur layan campuran, karena rongga yang lebih besar memungkinkan penetrasi air. Namun demikian, karena nilai VITM masih dalam batas standar, maka kekuatan Marshall campuran ini masih dapat dikatakan baik dan memenuhi persyaratan.



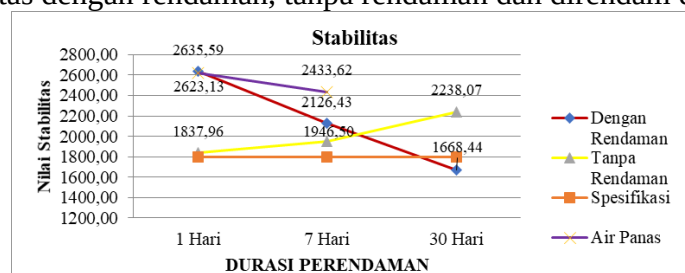
Gambar 26 Grafik MQ Pengaruh Variasi Rendaman Air Panas
(Sumber: Data Olahan, 2025)

Berdasarkan grafik nilai Marshall Quotient (MQ) pada benda uji Marshall yang direndam selama 30 menit dan 60 menit, terlihat bahwa nilai MQ mengalami penurunan dari 880,38 kg/mm menjadi 765,34 kg/mm. Meskipun terjadi penurunan, kedua nilai tersebut masih berada jauh di atas spesifikasi minimum sebesar 300 kg/mm, yang menunjukkan bahwa campuran aspal memiliki tingkat kekakuan dan ketahanan deformasi yang sangat baik. Marshall Quotient merupakan indikator penting dalam menilai kekuatan dan stabilitas campuran aspal, karena diperoleh dari perbandingan antara nilai stabilitas terhadap nilai flow. Penurunan MQ seiring bertambahnya durasi perendaman mengindikasikan bahwa perendaman mempengaruhi fleksibilitas dan kekakuan campuran semakin lama direndam, campuran menjadi sedikit lebih lunak dan kurang kaku. Namun, karena nilai MQ tetap jauh di atas ambang batas spesifikasi, kekuatan Marshall campuran ini masih dapat dianggap sangat baik dan mampu menahan beban lalu lintas secara optimal meskipun mengalami perendaman.

9. Perbandingan Variasi Rendaman Terhadap Karakteristik Marshall

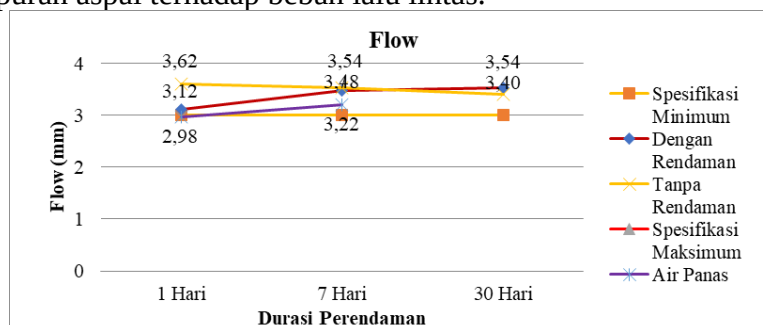
Adapun Grafik hasil pengujian stabilitas, pengujian kelelahan/flow, pengujian VIM, pengujian VWA, pengujian VMA, pengujian VFA, dan pengujian MQ dapat dilihat pada gambar berikut ini :

- 1) Grafik stabilitas dengan rendaman, tanpa rendaman dan direndam dengan air panas



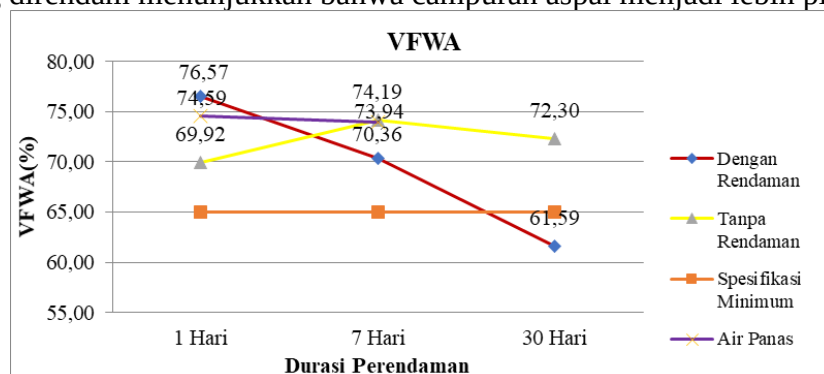
Gambar 27 Grafik Stabilitas Perbandingan Variasi Rendaman
(Sumber: Data Olahan, 2025)

Berdasarkan grafik gabungan hasil pengujian Marshall aspal terhadap durasi perendaman, dapat disimpulkan bahwa nilai stabilitas aspal cenderung menurun seiring bertambahnya waktu perendaman, terutama pada sampel yang direndam. Nilai stabilitas tertinggi sebesar 2633,59 diperoleh pada perendaman 1 hari, kemudian menurun signifikan menjadi 2126,43 pada 7 hari, dan terus turun hingga 1668,44 pada 30 hari. Sementara itu, sampel tanpa perendaman menunjukkan tren sebaliknya, yaitu peningkatan nilai stabilitas dari 1837,96 ,1 hari, dan 1946,50 ,7 hari dan menjadi 2238,07 ,30 hari. Hasil ini menunjukkan bahwa durasi perendaman air, terutama dalam waktu yang lama, memiliki dampak negatif terhadap kekuatan Marshall atau stabilitas campuran aspal, sedangkan tanpa perendaman atau hanya terkena air panas seperti yang ditunjukkan kurva air panas, nilai stabilitas lebih terjaga. Nilai spesifikasi tetap berada di angka 1800 sebagai batas minimal. Dengan demikian, perendaman air dalam jangka panjang dapat mengurangi daya tahan struktural campuran aspal terhadap beban lalu lintas.



Gambar 28 Grafik Flow Perbandingan Variasi
(Sumber: Data Olahan, 2025)

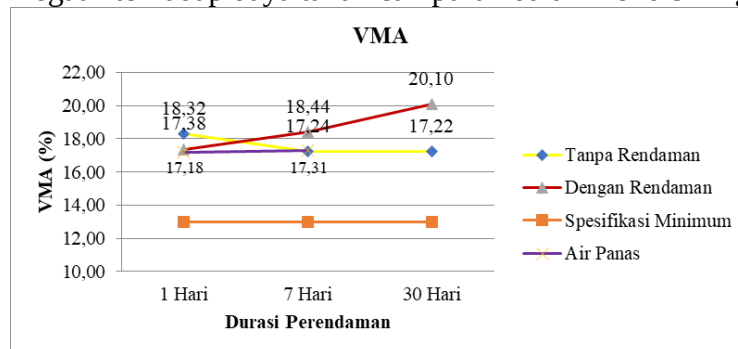
Berdasarkan grafik nilai Flow Marshall terhadap durasi perendaman, seluruh sampel baik dengan rendaman, tanpa rendaman, maupun rendaman air panas. Ini menunjukkan nilai flow yang relatif stabil dan masih berada di atas batas spesifikasi minimum sebesar 3 mm. Sampel dengan rendaman mengalami sedikit peningkatan nilai flow dari 3,12 mm 1 hari menjadi 3,48 mm 7 hari, lalu sedikit menurun menjadi 3,44 mm 30 hari, yang mengindikasikan adanya peningkatan kelenturan akibat perendaman. Sampel tanpa rendaman dan dengan air panas juga menunjukkan fluktuasi ringan namun tetap dalam kisaran yang aman. Secara keseluruhan, perendaman tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan nilai flow, meskipun kecenderungan meningkatnya nilai flow pada sampel yang direndam menunjukkan bahwa campuran aspal menjadi lebih plastis.



Gambar 29 Grafik VFWA Perbandingan Variasi
(Sumber: Data Olahan, 2025)

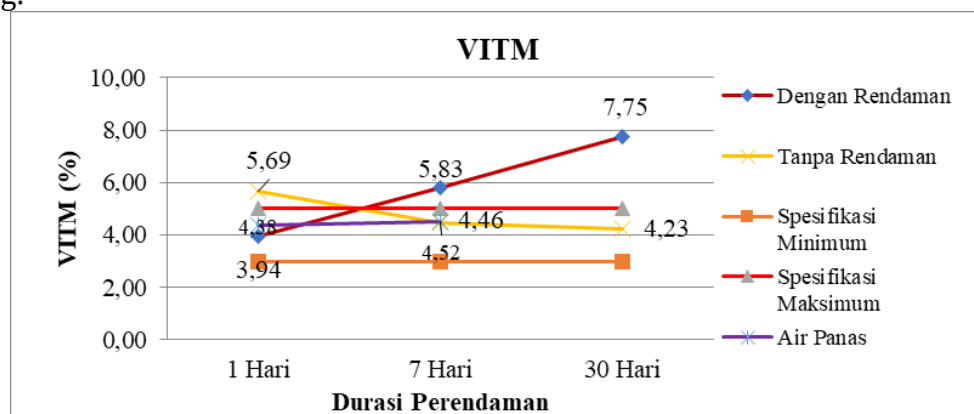
Berdasarkan grafik nilai VFWA (%) terhadap durasi perendaman, terlihat bahwa perendaman memiliki pengaruh signifikan terhadap penurunan nilai VFWA, khususnya pada sampel yang direndam dalam air. Sampel dengan rendaman mengalami penurunan

drastis dari 76,57% 1 hari menjadi 70,36% 7 hari, dan mencapai titik terendah 61,59% 30 hari, yang berada di bawah batas spesifikasi minimum 65%, menunjukkan bahwa daya tahan terhadap air menurun seiring lamanya perendaman. Sebaliknya, sampel tanpa rendaman menunjukkan tren peningkatan dari 69,92% 1 hari menjadi 74,02% 7 hari, lalu sedikit menurun menjadi 72,30% 30 hari, namun tetap berada di atas standar minimum. Sampel dengan rendaman air panas juga mengalami sedikit penurunan dari 74,59% ke 73,04%, tetapi tetap memenuhi spesifikasi. Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa durasi dan jenis perendaman sangat memengaruhi nilai VFWA, di mana perendaman air jangka panjang dapat merusak kemampuan aspal dalam mengikat agregat terhadap pengaruh air, yang berdampak negatif terhadap daya tahan campuran dalam kondisi lingkungan basah.



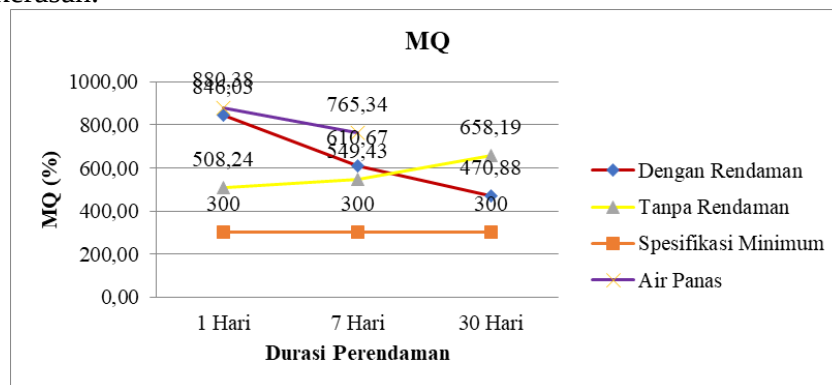
Gambar 30 Grafik VMA Perbandingan Variasi
(Sumber: Data Olahan, 2025)

Berdasarkan grafik nilai VMA (Void in Mineral Aggregate) terhadap durasi perendaman, dapat dilihat bahwa seluruh sampel tetap berada di atas batas spesifikasi minimum 13%, menunjukkan bahwa volume pori dalam agregat mineral masih mencukupi untuk mengakomodasi aspal. Sampel dengan rendaman menunjukkan peningkatan nilai VMA dari 17,38% 1 hari menjadi 18,44% 7 hari dan mencapai puncaknya di 20,10% 30 hari. Peningkatan ini mengindikasikan bertambahnya ruang kosong dalam campuran akibat pelemahan struktur karena rendaman, yang bisa berdampak pada menurunnya kepadatan dan ketahanan mekanis. Sebaliknya, sampel tanpa rendaman menunjukkan penurunan nilai VMA dari 18,32% ke 17,22%, yang mengindikasikan struktur tetap padat dan stabil. Sampel air panas relatif stabil pada kisaran 17,18 – 17,34%. Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa perendaman jangka panjang, khususnya pada sampel yang direndam dalam air, menyebabkan peningkatan nilai VMA yang dapat menurunkan kualitas ikatan aspal-agregat, sehingga dapat berdampak pada penurunan kekuatan campuran dalam jangka panjang.



Gambar 31 Grafik VITM Perbandingan Variasi
(Sumber: Data Olahan, 2025)

Berdasarkan grafik gabungan pengukuran Marshall, dapat disimpulkan bahwa nilai VITM (Void in Total Mix) pada benda uji yang direndam mengalami peningkatan seiring bertambahnya durasi perendaman, yaitu dari 3,94% pada 1 hari menjadi 5,83% pada 7 hari, dan meningkat tajam hingga 7,75% pada 30 hari, yang berarti melebihi batas maksimum spesifikasi sebesar 5%. Sebaliknya, benda uji tanpa rendaman menunjukkan tren penurunan nilai VITM dari 5,69% pada 1 hari menjadi 4,36% pada 7 hari dan menjadi 4,23% pada 30 hari, yang masih berada dalam rentang yang disyaratkan. Peningkatan nilai VITM pada benda uji yang direndam menunjukkan bahwa semakin lama waktu perendaman, rongga dalam campuran semakin banyak terbentuk, sehingga kepadatan dan kerapatan campuran menurun. Hal ini berdampak langsung terhadap kekuatan Marshall, karena campuran dengan porositas tinggi memiliki daya ikat yang rendah antara agregat dan aspal, yang menyebabkan turunnya kekuatan dan stabilitas terhadap beban lalu lintas. Dengan demikian, perendaman udara dalam durasi yang lama berpengaruh negatif terhadap kekuatan Marshall, karena menyebabkan peningkatan rongga dalam campuran dan menurunkan kestabilan struktur perkerasan.



Gambar 32 Grafik MQ Perbandingan Variasi
(Sumber: Data Olahan, 2025)

Berdasarkan grafik di atas yang menunjukkan nilai Marshall Quotient (MQ) terhadap durasi perendaman, dapat disimpulkan bahwa nilai MQ pada benda uji dengan rendaman mengalami penurunan yang signifikan seiring bertambahnya durasi perendaman, yaitu dari 846,03 pada 1 hari menjadi 610,67 pada 7 hari, dan turun lagi menjadi 470,88 pada 30 hari. Penurunan ini menunjukkan bahwa perendaman menyebabkan berkurangnya kekakuan dan kestabilan campuran aspal terhadap penyelesaian plastis. Sebaliknya, benda uji tanpa rendaman justru menunjukkan peningkatan nilai MQ dari 508,24 pada 1 hari menjadi 549,43 pada 7 hari, dan terus meningkat hingga 658,19 pada 30 hari, yang menandakan bahwa campuran semakin stabil dan tahan terhadap beban. Meskipun semua nilai MQ masih berada di atas spesifikasi minimum sebesar 300, tren penurunan tajam pada benda uji dengan rendaman mengindikasikan bahwa perendaman, khususnya dalam jangka waktu lama, berdampak negatif terhadap kekuatan Marshall. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa perendaman udara menurunkan kestabilan dan kekuatan struktur campuran aspal, sedangkan tanpa perendaman campuran cenderung mempertahankan bahkan meningkatkan kekuatan terhadap peningkatan.

KESIMPULAN

1. Material yang diuji telah memenuhi standar spesifikasi karakteristik sesuai ketentuan Bina Marga Tahun 2018.
2. Dari hasil analisis terhadap variasi kadar aspal terhadap karakteristik Marshall, diketahui bahwa perubahan kadar aspal memberikan pengaruh signifikan terhadap parameter

Marshall seperti stabilitas, flow, kadar rongga (VIM), rongga terisi aspal (VFB), dan rongga antar agregat (VMA). Berdasarkan evaluasi terhadap seluruh parameter tersebut, kadar aspal sebesar 6% menghasilkan performa campuran beraspal yang paling optimal dan memenuhi batas persyaratan menurut Standar Bina Marga Tahun 2018. Oleh karena itu, kadar aspal sebesar 6% ditetapkan sebagai kadar optimum untuk campuran tersebut.

3. Berdasarkan hasil pengujian terhadap pengaruh durasi perendaman air terhadap karakteristik Marshall, diketahui bahwa perendaman memberikan sedikit dampak yang membuat penurunan kualitas campuran aspal. Nilai stabilitas pada sampel dengan rendaman menunjukkan penurunan seiring bertambahnya waktu perendaman, dari 2623,13 kg pada hari ke-1 menjadi 1668,44 kg pada hari ke-30 sehingga turun dari batas standar yaitu 1800 kg. Sementara itu, sampel tanpa rendaman justru mengalami peningkatan stabilitas. Nilai flow pada semua kondisi relatif stabil dan berada dalam batas standar spesifikasi, sehingga perendaman air tidak terlalu memengaruhi parameter ini secara signifikan selama durasi perendaman 30 Hari.

Saran

1. Untuk pengujian selanjutnya harus teliti dalam pembuatan sampel agar tidak terjadinya pengurangan setiap butir agregat dan campuran.
2. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar dilakukan pengujian dengan lebih banyak variasi jenis rendaman, suhu, serta metode pembebanan yang menyerupai kondisi lalu lintas nyata. Hal ini bertujuan agar hasil yang diperoleh dapat lebih mendekati kondisi di lapangan..

DAFTAR PUSTAKA

- Agregat Kasar, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- Bina marga.(2018), Spesifikasi umum 2018.
- IGNATIUS S. PASERENG; STUDI PENGARUH GENANGAN BANJIR JALAN TERHADAP KINERJA CAMPURAN PERKERASAN BERASPAL DI KOTA MAKASSAR,2014 D 111 07 102
- IRWANSYAH, Irwansyah; ROSYAD, Farlin. ANALISA KETAHANAN ASPAL AC-WC TERHADAP GENANGAN AIR HUJAN. Rang Teknik Journal, 2023, 6.1: 121-126.
- RAMDANI, Rahmad; ZULKARNAEN, Zulkarnaen; PURNAMA, Ady. Analisis Pengaruh Genangan Air Terhadap Kerusakan Jalan Di Kelurahan Uma Sima Kecamatan Sumbawa: Studi Kasus Jalan Tongkol. Jurnal sainteka, 2022, 3.1: 7-12.
- SNI 06-2489-1991, Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- SNI 1969:2016, Metode Pengujian Berat jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- SNI 1970:2016, Metode Pengujian Berat jenis, Badan Standarisasi Nasional
- SNI 2417:2008, Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angles, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- SNI 2432:2012, Metode Pengujian Daktilitas, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta SNI 2433:2011, Cara Uji Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal dengan Alat Cleveland Open Cup, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- SNI 2434:2011, Cara Uji Titik Lembek Aspal dengan Alat Cincin dan Bola(ring and ball), Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- SNI 2441:2011, Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- SNI 2456:2011, Cara Uji Penetrasi Aspal, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- SNI ASTM C 136-06, IDT, Metode Uji untuk Analisis Saringan Agregat Halus dan