

PENGARUH DURASI PERENDAMAN TERHADAP NILAI DURABILITAS CAMPURAN ASPAL COLD PAVING HOT MIX ASBUTON (CPHMA) DENGAN PENAMBAHAN ASPAL PENETRASI 60/70

Dei Handayani¹, Ida Ayu Oka Suwati Sideman², Fera Salsabila³

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Mataram, Jl. Konferensi No.62, Mataram, NTB
e-mail: deihandayani75@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Mataram, Jl. Konferensi No.62, Mataram, NTB
e-mail: suwastisidemen@unram.ac.id

³Program Studi Teknik Sipil, Universitas Mataram, Jl. Konferensi No.62, Mataram, NTB
e-mail: sallsabilafe@unram.ac.id

Abstrak

Penelitian ini menganalisis pengaruh durasi perendaman dan penambahan aspal penetrasi 60/70 terhadap durabilitas Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA). CPHMA merupakan campuran agregat dan asbuton yang dicampur panas namun dihamparkan dingin, efektif untuk konstruksi jalan di daerah terpencil, namun memiliki keterbatasan pada stabilitas dan durabilitas, khususnya di lingkungan tropis dengan curah hujan tinggi. Penelitian dilakukan dengan menambahkan aspal penetrasi 60/70 sebesar 0%, 0,5%, 1,0%, 1,5%, dan 2,0% dari berat campuran, dengan pengujian setelah perendaman 0,5 jam, 24 jam, dan 48 jam. Uji Marshall digunakan untuk menilai stabilitas, flow, VIM, VMA, VFA, serta Indeks Kekuatan Sisa (IKS) sebagai indikator durabilitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan aspal meningkatkan VMA dan VFA, namun VIM tetap tinggi, sementara stabilitas Marshall menurun setelah kadar aspal melebihi 0,5%. Nilai IKS tertinggi diperoleh pada penambahan aspal 0,5% sebesar 91,75%, sebelum menurun pada kadar >0,5%, meski tetap memenuhi standar minimum 70%.

Kata kunci : Aspal penetrasi 60/70, CPHMA, Durabilitas, IKS, Marshall, Perendaman.

PENDAHULUAN

Aspal merupakan material utama dalam perkerasan jalan yang berfungsi sebagai pengikat agregat dan berperan penting dalam menentukan kekuatan serta daya tahan perkerasan (Rahmawati & Hidayat, 2021). Salah satu teknologi yang dikembangkan di Indonesia adalah *Cold Paving Hot Mix Asbuton* (CPHMA), yaitu campuran agregat, asbuton butir, bahan peremaja, dan bahan tambah lain yang dicampur panas tetapi dihampar dingin (Bina Marga, 2018). Teknologi ini menawarkan efisiensi, terutama di wilayah terpencil yang tidak memiliki *Asphalt Mixing Plant* (AMP). Namun, penerapannya masih memiliki kelemahan, baik dari sisi teknis seperti kesulitan pemadatan akibat campuran yang cepat kaku (Sumarlan, 2022), maupun dari sisi lingkungan karena curah hujan tinggi yang mempercepat kerusakan perkerasan akibat melemahnya ikatan aspal-agregat (Prathama et al., 2022). Kondisi tersebut menunjukkan perlunya upaya modifikasi campuran untuk meningkatkan stabilitas dan durabilitas CPHMA.

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengkaji modifikasi CPHMA. Suciati et al. (2023), menunjukkan bahwa penambahan aspal penetrasi 60/70 sebesar 0,5-2,0% mampu memenuhi spesifikasi Marshall, sementara Prathama et al. (2022) menemukan bahwa durasi perendaman

berpengaruh signifikan terhadap ketahanan CPHMA yang umumnya hanya sesuai untuk beban lalu lintas ringan hingga sedang. Penelitian lain oleh Rahma (2023) menunjukkan penurunan stabilitas dan densitas CPHMA setelah perendaman dalam air hujan dan laut akibat degradasi kimia. Temuan-temuan tersebut menegaskan bahwa meskipun penambahan aspal penetrasi 60/70 berpotensi meningkatkan karakteristik campuran, kajian mengenai pengaruhnya terhadap durabilitas dengan variasi durasi perendaman masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh penambahan aspal penetrasi 60/70 dan variasi perendaman terhadap durabilitas CPHMA guna mendukung peningkatan kualitas perkerasan jalan di iklim tropis.

TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi karakteristik dan durabilitas campuran aspal CPHMA. Suciati et al. (2023) meneliti pengaruh penambahan aspal penetrasi 60/70 terhadap kadar aspal campuran (0,5%-2,5%) pada karakteristik Marshall, dan menemukan bahwa penambahan 0,5%-2,0% memenuhi standar. Penelitian lain oleh Prathama et al. (2022) menelaah pengaruh lama perendaman dan penuaan aspal, baik jangka pendek (STOA) maupun jangka panjang (LTOA), terhadap durabilitas CPHMA menggunakan parameter Indeks Kekuatan Sisa (IKS), Indeks Durabilitas Pertama (IDP), dan Indeks Durabilitas Kedua (IDK). Hasilnya menunjukkan bahwa campuran ini lebih cocok untuk beban kendaraan ringan hingga sedang.

Selain itu, Rahma (2023) meneliti CPHMA yang dimodifikasi dengan penambahan aspal minyak 14,28% terhadap perendaman dalam air hujan dan air laut. Penelitian tersebut menunjukkan penurunan signifikan pada stabilitas Marshall, densitas, dan *Marshall Quotient* setelah perendaman, sekaligus peningkatan VIM dan VMA akibat pelunakan dan pembesaran rongga. Air laut juga memberikan efek degradasi kimia lebih agresif karena kandungan ion garam.

Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA)

CPHMA adalah campuran asbuton, agregat, peremaja, dan bahan tambahan lainnya yang dicampur panas namun dihampar dalam kondisi dingin ($\pm 30^{\circ}\text{C}$). CPHMA digunakan sebagai lapisan permukaan jalan bervolume lalu lintas rendah (≤ 500 SMP/hari) dan $\text{ESA} \leq 1.000.000$. Kelemahan CPHMA adalah *workability* menurun setelah mendingin, sehingga pemadatan lebih sulit. Produk tersedia dalam bentuk curah (maks. 3 hari) atau kemasan kantong 25-50 kg (hingga 3 bulan) (Prathama et al., 2022).

Ekstraksi Campuran CPHMA

Ekstraksi adalah pemisahan komponen campuran menggunakan pelarut untuk mengukur kadar aspal dan mineral (Bina Marga, 2018; SNI 03-6822-2002):

$$\text{Kadar aspal : } B = \frac{(W1-W2)-(W3+W4)}{W1-W2} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Tabel 1 Gradasi agregat CPHMA

No	Ukuran ayakan	Persen Berat Lolos	
		Nominal maksimum 12,5 mm **)	Nominal maksimum 19 mm **)
1	¾ in (19 mm)	100	90-100
2	½ in (12,5 mm)	90-100	-
3	No. 4 (4,75 mm)	45-70	35-65
4	No. 8 (2,36 mm)	30-55	20-50
5	No. 50 (0,300 mm)	12-25	3-20
6	No. 200 (0,075 mm)	6-15	2-8

Sumber: **) Ditjen Bina Marga 2018 revisi 2

Tabel 2 Kadar dan sifat aspal CPHMA

Uraian	Metoda Pengujian	Persyaratan **)
Kadar Aspal, (%)	SNI 03-3640-1994	6-8

Sumber: **) Spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2

Tabel 3 Ketentuan sifat-sifat campuran CPHMA

Sifat-sifat Campuran CPHMA	CPHMA Padat **)	
Jumlah tumbukan per bidang		75
Rongga dalam campuran (%)	Min.	4
	Maks.	10
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	16
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	60
Stabilitas Marshall (kg), temperatur udara	Min.	500
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, temperatur udara	Min.	70

Sumber: **) Spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2

Aspal Minyak Penetrasi 60/70

Tabel 4 Karakteristik teknis aspal 60/70

No.	Jenis pengujian	Metode pengujian	Aspal Pen 60/70 **)
1	Penetrasi pada 25° C (0,1mm)	SNI 2456:2011	60-70
2	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48

No.	Jenis pengujian	Metode pengujian	Aspal Pen 60/70 **)
3	Daktilitas pada 25° C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
4	Titik nyala (°C)	SNI 06-2433-1991	>232
5	Berat jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0

Sumber : **) Departemen Pekerjaan Umum 2018

Karakteristik Volumetrik Campuran Aspal

1. Berat jenis:

Berat jenis bulk (*bulk specific gravity*)

$$G_{sb\text{total}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_s} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \dots\dots\dots (2)$$

Berat jenis efektif agregat

$$G_{se} = \frac{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots (3)$$

Berat jenis maksimum campuran aspal

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_3}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots (4)$$

2. Void In Mineral Agregate (VMA)

$$VMA = 100 - \frac{(G_{mb} \times P_s)}{G_{sb}} \dots\dots\dots (5)$$

3. Void In Mix (VIM)

$$VIM = \frac{(G_m + G_{mb})}{G_{mm}} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

4. Void Filled Asphalt (VFA)

$$VFA = \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \times 100 \dots\dots\dots (7)$$

Karakteristik Mekanik Marshall

1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan bleeding (Sukirman, 2016).

$$S = q \times C \times k \dots\dots\dots (8)$$

2. Flow

Nilai flow dipengaruhi oleh kadar aspal dan viskositas aspal, gradasi, suhu, dan jumlah pemadatan. Semakin tinggi nilai flow, maka campuran akan semakin elastis. Sedangkan apabila nilai flow rendah, maka campuran sangat potensial terhadap retak (Febrianto et al., 2014).

3. Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient (MQ) merupakan nilai hasil perbandingan antara stabilitas dengan kelelahan (*flow*). Apabila diperoleh stabilitas yang tinggi dengan *flow* yang rendah akan menunjukkan lapis perkerasan yang kaku. Perkerasan yang kaku memudahkan timbul retak saat menerima beban (Pohan, 2019).

$$\text{Marshall Quotient (MQ)} = \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}} \dots\dots\dots (9)$$

4. Kerapatan (*Density*)

Campuran dengan kerapatan tinggi memiliki kemampuan menahan beban yang lebih besar, sedangkan kerapatan rendah menunjukkan daya dukung yang lebih terbatas (Prathama et al., 2022).

Rumus *density*:

$$Gmb = \frac{(Wb + Ws)}{vmb} \times gw \dots\dots\dots (10)$$

Durabilitas Aspal

Durabilitas atau keawetan aspal adalah kemampuan material mempertahankan sifatnya terhadap perubahan fisik dan kimia selama masa layanan, termasuk proses pengerasan, pengaruh lalu lintas, dan kondisi lingkungan (Sukirman, 2016; Mashuri & Rahman, 2020).

Indeks Kekuatan Sisa (IKS) digunakan untuk mengukur durabilitas campuran:

$$IKS = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \dots\dots\dots (11)$$

dengan:

Semakin tinggi IKS, semakin baik ketahanan campuran terhadap degradasi air. Nilai IKS minimum CPHMA sebesar 70% (Bina Marga, 2018).

Pengaruh Perendaman

Salah satu faktor utama penyebab kerusakan jalan adalah genangan air hujan. Air yang masuk ke lapisan perkerasan dapat melemahkan ikatan antara aspal dan agregat. Ketika ikatan tersebut melemah, beban lalu lintas yang melintas akan mempercepat timbulnya retak maupun bentuk kerusakan lainnya (Dando, 2016).

Pengujian dilakukan pada durasi 0,5 jam, 24 jam, dan 48 jam, mewakili hujan ringan, genangan sehari, dan kondisi jenuh air ekstrem. Penggunaan rentang durasi ini memberikan gambaran yang komprehensif mengenai seberapa besar pengaruh perendaman terhadap perubahan karakteristik Marshall seperti stabilitas, *flow*, dan porositas (Rahma, 2023).

METODE PENELITIAN

Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan di Laboratorium dan Rekayasa Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram dengan menggunakan sistem pencampuran aspal buton tipe CPHMA dengan penambahan aspal minyak pen 60/70 yang diambil dari PT Aspal Karya Nusantara di Pringgabaya, Lombok Timur.

Penelitian ini menggunakan standar dan pedoman pengujian yang mengacu pada ketentuan yang ditetapkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat melalui Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2, yang merujuk pada SNI, ASTM dan AASHTO.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemeriksaan kadar aspal campuran CPHMA

Tabel 5 Kadar aspal hasil ekstraksi CPHMA

Uraian	Metode Pengujian	Hasil (%))	Persyaratan (%))
Kadar Aspal (%)	SNI-03-6894-2002	6,90	6-8

Sumber : *) Hasil Pengujian

**) Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 Kementrian PUPR

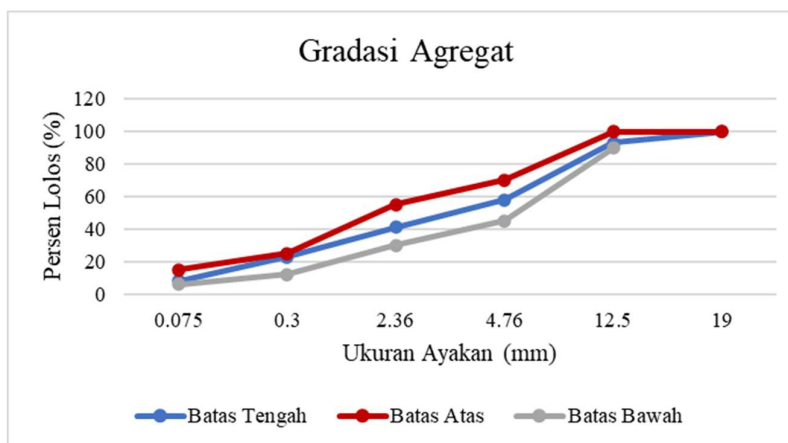
Hasil analisa saringan CPHMA

Tabel 6 Pemeriksaan analisa saringan agregat

No	Ukuran Saringan (ASTM)	% Lolos Saringan)	Spesifikasi Lolos Saringan (%))	% Tertahan)
1	3/4"	100%	100	
2	1/2"	93%	90-100	7%
3	No.4	58%	45-70	35%
4	No.8	41%	30-55	18%
5	No.50	23%	12-25	18%
6	No.200	8%	6-15	15%
7	Filler			8%

Sumber : *) Hasil Pengujian

**) Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 Kementrian PUPR



Gambar 1 Grafik gradasi agregat

Tabel 7 Hasil pemeriksaan berat jenis agregat

Material	Berat Jenis Bulk	Berat Jenis Semu	Berat Jenis Efektif
----------	------------------	------------------	---------------------

	A *)	B *)	C *)
Agregat Kasar	2.68	2.87	2.77
Agregat Halus	2.64	2.86	2.75
Filler	2.50	2.69	2.60

Sumber : *) Hasil Pengujian

Hasil pemeriksaan karakteristik aspal minyak

Tabel 8 Hasil pemeriksaan aspal minyak penetrasi 60/70

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil Pengujian *)	Spesifikasi **)
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	68	60-70
2	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	49	≥48
3	Titik Nyala (°C)	SNI 06-2433-1991	350	≥232
4	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	141	≥100
5	Berat Jenis	SNI 2441:2011	1,078	≥1,0

Sumber : *) Hasil Pengujian

**) Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 Kementerian PUPR

Hasil Pengujian Volumetrik Pada Campuran CPHMA

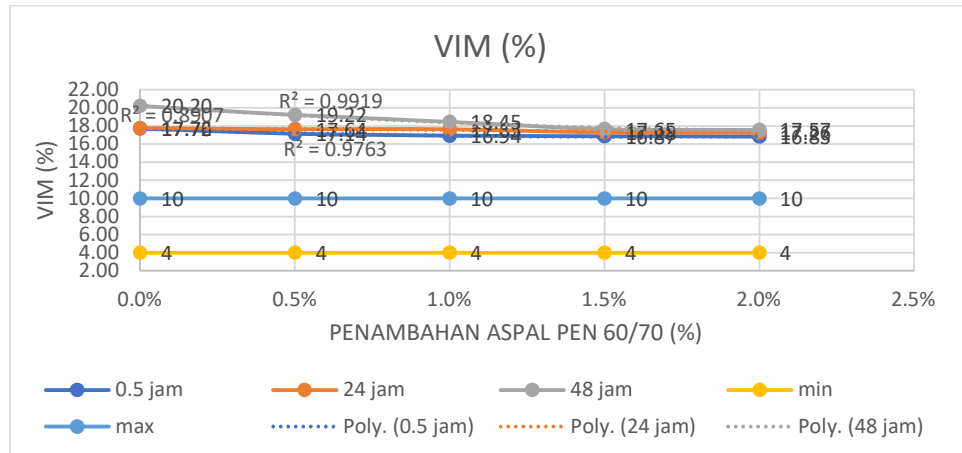
a. Void in Mix (VIM)

Tabel 9 Rekapitulasi hasil pengujian VIM

Kadar Aspal Pen 60/70	Durasi Perendaman *)			Spesifikasi VIM (%) **)	
	0.5 jam	24 jam	48 jam	min	max
0.0%	17.72	17.76	20.20	4	10
0.5%	17.14	17.64	19.22	4	10
1.0%	16.94	17.63	18.45	4	10
1.5%	16.87	17.28	17.65	4	10
2.0%	16.83	17.26	17.57	4	10

Sumber : *) Hasil Pengujian

**) Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 Kementerian PUPR



Gambar 2 Grafik rekapitulasi hasil pengujian VIM

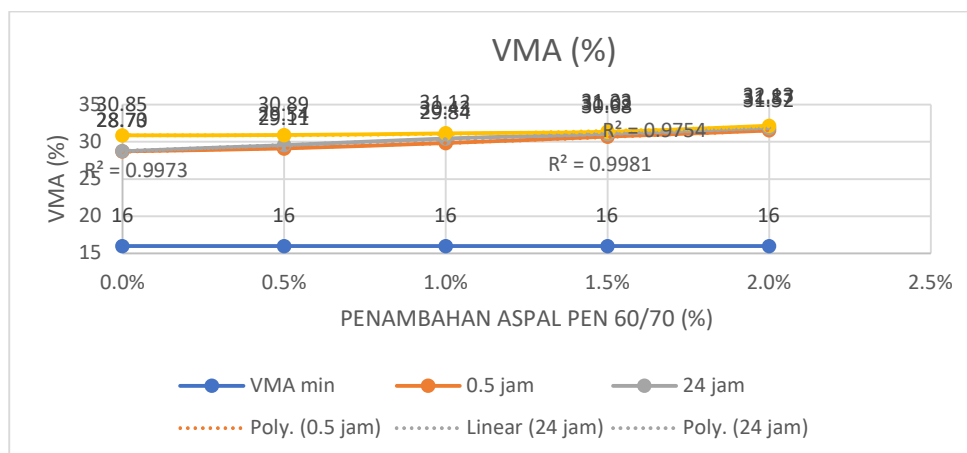
b. Void in Mineral Agregate (VMA)

Tabel 10 Rekapitulasi hasil pengujian VMA

Kadar Aspal Pen 60/70	Durasi Perendaman)			Spesifikasi VMA (%)
	0.5 jam	24 jam	48 jam	min
0.0%	28.70	28.73	30.85	16
0.5%	29.11	29.54	30.89	16
1.0%	29.84	30.43	31.12	16
1.5%	30.68	31.02	31.33	16
2.0%	31.52	31.87	32.13	16

Sumber : *) Hasil Pengujian

**) Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 Kementrian PUPR



Gambar 3 Grafik rekapitulasi hasil pengujian VMA

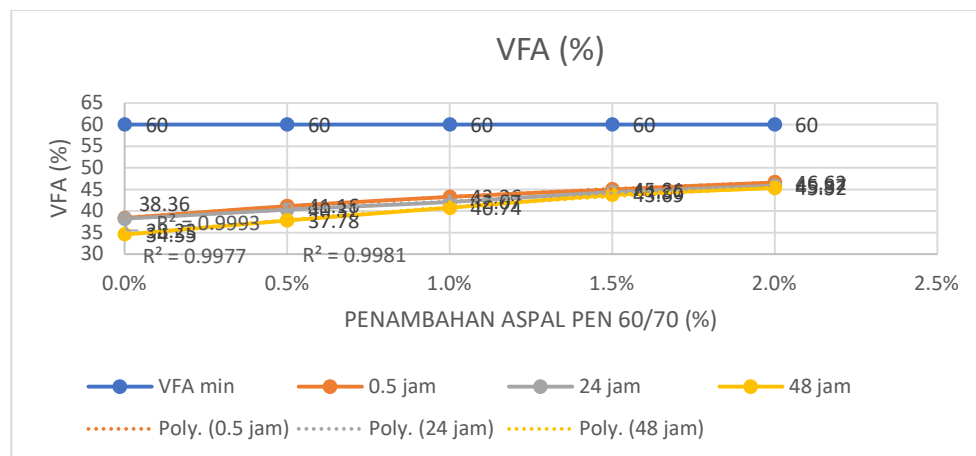
c. Void Filled Asphalt (VFA)

Tabel 11 Rekapitulasi hasil pengujian VFA

Kadar Aspal Pen 60/70	Durasi Perendaman)			Spesifikasi VFA (%))
	0.5 jam	24 jam	48 jam	min
0.0%	38.36	38.23	34.55	60
0.5%	41.16	40.31	37.78	60
1.0%	43.26	42.07	40.74	60
1.5%	45.01	44.36	43.69	60
2.0%	46.62	45.87	45.32	60

Sumber : *) Hasil Pengujian

**) Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 Kementerian PUPR



Tabel 4 Grafik rekapitulasi hasil pengujian VFA

Hasil Pengujian Mekanik Marshall Pada Campuran CPHMA

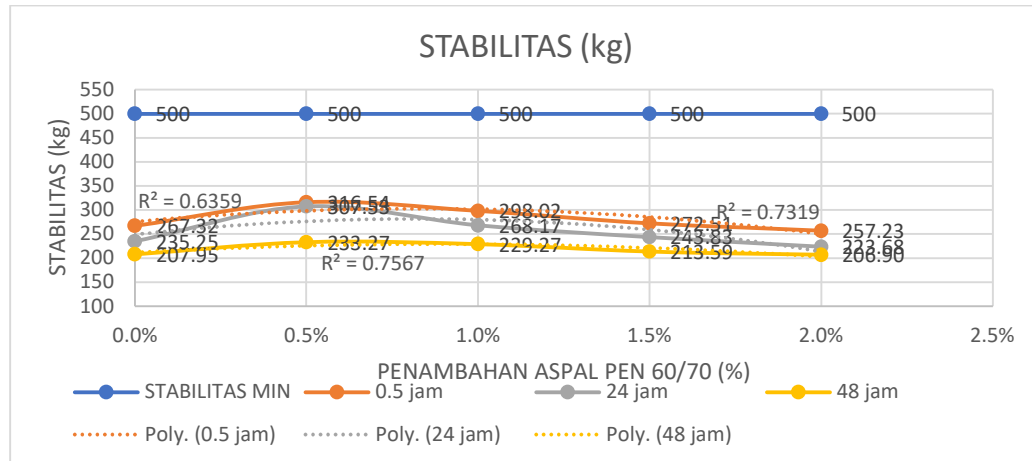
a. Stabilitas

Tabel 12 Rekapitulasi hasil pengujian stabilitas

Kadar Aspal Pen 60/70	Durasi Perendaman)			Spesifikasi Stabilitas (kg) **)
	0.5 jam	24 jam	48 jam	min
0.0%	267.32	235.25	207.95	500
0.5%	316.54	307.53	233.27	500
1.0%	298.02	268.17	229.27	500
1.5%	272.51	243.83	213.59	500
2.0%	257.23	223.68	206.90	500

Sumber : *) Hasil Pengujian

**) Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 Kementerian PUPR



Gambar 5 Grafik rekapitulasi hasil pengujian stabilitas

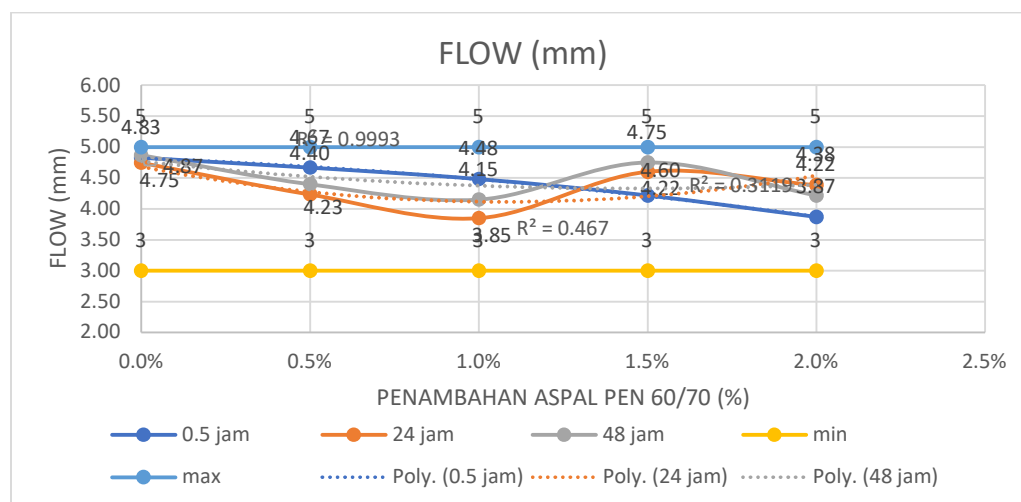
b. Flow

Tabel 13 Rekapitulasi hasil pengujian *flow*

Kadar Aspal Pen 60/70	Durasi Perendaman)			Spesifikasi Flow (mm))	
	0.5 jam	24 jam	48 jam	min	max
0.0%	4.83	4.75	4.87	3	5
0.5%	4.67	4.23	4.40	3	5
1.0%	4.48	3.85	4.15	3	5
1.5%	4.22	4.60	4.75	3	5
2.0%	3.87	4.38	4.22	3	5

Sumber : *) Hasil Pengujian

**) Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 Kementerian PUPR



Gambar 6 Grafik rekapitulasi hasil pengujian flow

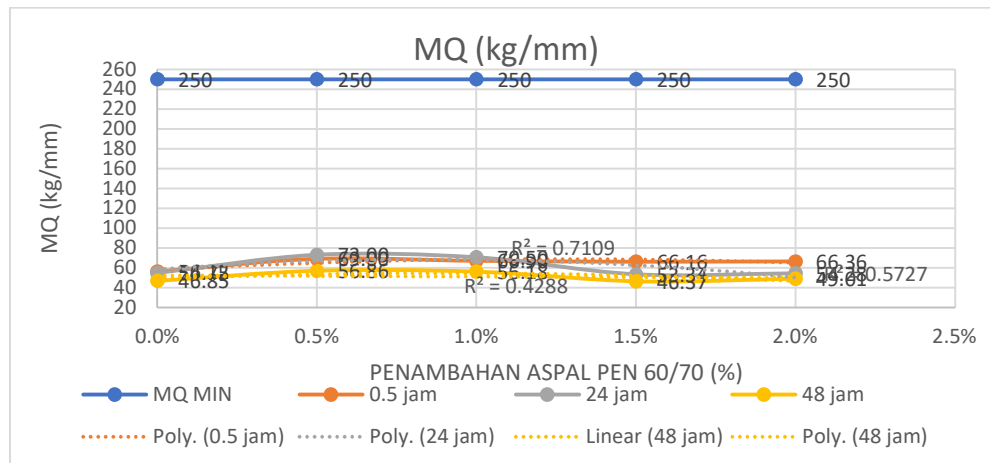
c. Marshall Questient (MQ)

Tabel 14 Rekapitulasi hasil pengujian *Marshall Questient* (MQ)

Kadar Aspal Pen 60/70	Durasi Perendaman)			Spesifikasi MQ (kg/mm))
	0.5 jam	24 jam	48 jam	min
0.0%	56.12	54.75	46.85	250
0.5%	69.00	73.00	56.86	250
1.0%	66.90	70.50	56.18	250
1.5%	66.16	53.34	46.37	250
2.0%	66.36	54.28	49.01	250

Sumber : *) Hasil Pengujian

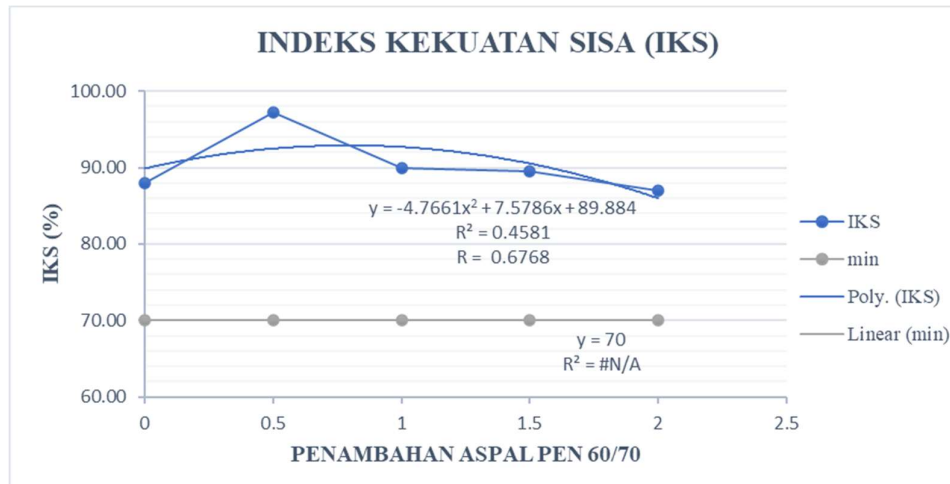
**) Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 Kementerian PUPR

**Gambar 7** Grafik rekapitulasi hasil pengujian *Marshall Questient* (MQ)**Analisis Nilai Durabilitas****Tabel 15** Nilai indeks kekuatan sisa (IKS)

Aspal Pen 60/70 (%)	Stabilitas Berdasarkan Lama Rendaman)			IKS (%))	IKS Min (%))
	0.5 Jam	24 Jam	48 Jam		
0	267,321 kg	235,246 kg	207,946 kg	88,00	70
0.5	316,539 kg	307,528 kg	233,266 kg	97,15	70
1	298,022 kg	268,174 kg	229,269 kg	89,98	70
1.5	272,510 kg	243,826 kg	213,593 kg	89,47	70
2	257,228 kg	223,677 kg	206,901 kg	86,96	70

Sumber : *) Hasil Pengujian

**) Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 Kementerian PUPR



Gambar 8 Grafik pengaruh durasi perendaman terhadap nilai IKS dengan variasi penambahan aspal penetrasi 60/70

Berdasarkan Tabel 15 dan Gambar 4.20, nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) meningkat dari 88,00% pada kadar aspal 0% hingga maksimum 91,75% pada 0,5%, lalu menurun bertahap hingga 86,96% pada kadar 2%. Peningkatan pada kadar 0,5% menunjukkan ikatan aspal–agregat yang optimal, sedangkan penurunan pada kadar lebih tinggi disebabkan film aspal yang terlalu tebal sehingga mempermudah air mengurangi adhesi. Persamaan regresi dengan $R = 0,6768$ menunjukkan hubungan cukup kuat antara kadar aspal dan IKS. Meskipun menurun pada kadar tinggi, seluruh nilai IKS masih di atas 70% sehingga tetap memenuhi spesifikasi ketahanan terhadap perendaman.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

1. Penambahan aspal penetrasi 60/70 tidak mampu meningkatkan nilai stabilitas Marshall sesuai spesifikasi Bina Marga (≥ 500 kg). Stabilitas tertinggi hanya dicapai pada kadar aspal 0,5% dengan durasi perendaman 30 menit sebesar 316,54 kg, namun nilainya masih jauh di bawah standar. Meskipun hubungan penambahan aspal dan stabilitas tergolong kuat, dengan nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 0,7319 (0,5 jam), 0,6359 (24 jam), dan 0,7567 (48 jam). Namun, seluruh hasil pengujian tidak mampu memenuhi spesifikasi minimum. Hal ini menegaskan bahwa meskipun ada kecenderungan peningkatan di awal, secara umum penambahan aspal tidak memberikan peningkatan stabilitas yang signifikan.
2. Durasi perendaman 30 menit, 24 jam, dan 48 jam menunjukkan bahwa semakin lama perendaman, nilai VMA dan VFA cenderung meningkat, sementara VIM mengalami penurunan. Penurunan VIM ini menunjukkan bahwa rongga udara dalam campuran semakin berkurang sehingga mendekati batas spesifikasi, namun masih belum sepenuhnya masuk dalam rentang yang dipersyaratkan (4-10%). Hal ini mengindikasikan bahwa kepadatan

campuran semakin baik, tetapi belum mencapai kondisi optimum. Sebaliknya, nilai VFA mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar aspal, menandakan bahwa rongga dalam campuran mulai banyak terisi aspal. Namun, nilai VFA tersebut masih berada di bawah spesifikasi, sehingga distribusi aspal dalam mengisi rongga belum maksimal. Walaupun stabilitas campuran belum optimal, nilai IKS yang tetap di atas 70% memperlihatkan bahwa campuran CPHMA masih memenuhi persyaratan ketahanan terhadap perendaman. Nilai IKS tertinggi dicapai pada kadar aspal 0,5% dengan durasi perendaman 0,5 jam, yaitu sebesar 91,75%.

3. Persentase optimum penambahan aspal penetrasi 60/70 pada campuran CPHMA yang mampu meningkatkan ketahanan terhadap perendaman adalah sebesar 0,5%. Pada kadar ini, diperoleh stabilitas tertinggi sebesar 307,53 kg pada perendaman 30 menit, serta nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) tertinggi mencapai 91,75%, yang menunjukkan campuran masih mampu mempertahankan ketahanannya terhadap pengaruh air. Dengan demikian, kadar aspal 0,5% dapat dianggap sebagai titik optimum untuk memperoleh keseimbangan antara stabilitas dan ketahanan terhadap perendaman pada campuran CPHMA.

Saran

1. Untuk pengujian selanjutnya, disarankan menambahkan suhu pemadatan, karena pada suhu ruang, penambahan aspal penetrasi 60/70 tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan kinerja campuran berdasarkan nilai indeks kekuatan sisa (IKS).
2. Dinas PUPR ataupun penelitian selanjutnya disarankan melakukan upaya peningkatan kinerja campuran dengan penambahan *filler* berserat atau pengaturan gradasi agregat yang lebih rapat guna menurunkan VIM yang masih tinggi dan meningkatkan VFA yang masih di bawah spesifikasi, sehingga campuran lebih padat, stabil, dan tahan lama.

DAFTAR PUSTAKA

- Bina Marga. (2018). *Spesifikasi umum 2018* (Revisi 2). Kementerian PUPR Direktorat Jendral Bina Marga.
- Dando, A. N. M. (2016). *Analisis Pengaruh Perendaman Air Hujan Terhadap Kinerja Campuran Aspal Berongga Berbasis Asbuton Butir*. HASANUDDIN MAKASSAR.
- Febrianto, N., Setyawan, A., & Sarwono, D. (2014). Sifat-Sifat Marshall Pada Lapis Tipis Campuran Aspal Panas Dengan Penambahan Crumb Rubber. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 748–758.
- Mashuri, M., & Rahman, R. (2020). Pengaruh Penuaan Aspal Pada Karakteristik Campuran Beton Aspal Lapis Aus AC – WC. *REKONSTRUKSI TADULAKO: Civil Engineering Journal on Research and Development*, 47–56. <https://doi.org/10.22487/renstra.v1i2.30>
- Pohan, S. A. (2019). *Pengaruh Penambahan Abu Arang Kayu pada Aspal Porus terhadap Perkerasan Jalan*.
- Prathama, A. D. ., Achmad, F., & Desei, F. L. (2022). Pengaruh Lama Rendaman Dan Penuaan Aspal Terhadap Nilai Durabilitas Campuran Aspal Cold. *Composite Journal*, 2(1), 10–20.
- Rahma, Z. N. (2023). *Pengaruh Perendaman Air pada Campuran Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA) dengan Modifikasi Aspal Minyak terhadap Karakteristik Marshall*. JENDERAL SOEDIRMAN.
- Rahmawati, N., & Hidayat, I. N. U. R. (2021). *Kinerja Campuran Aspal Porus yang Dimodifikasi dengan Lateks Indonesia merupakan negara dengan iklim tropis basah dan intensitas hujan yang tinggi . ketahanan perkerasan jalan di Indonesia karena kendaraan tiap tahunnya dan dengan curah jalan akan semakin*. 24(1), 47–61.

- Suciati, H., Simamora, A. W., Panusunan, P., & Fauzan, F. (2023). *Analisa Campuran CPHMA terhadap Penambahan Variasi Aspal Penetrasi 60 / 70 pada Karakteristik Marshall (Analysis of CPHMA Mixture for the Addition of 60 / 70 Penetration Asphalt Variations on Marshall Characteristics)*. 1(2), 75–86.
- Sukirman, S. (2016). Beton Aspal Campuran Panas. In *Institut Teknologi Nasional (Kedua)*. Institut Teknologi Nasional.
- Sumarlan. (2022). *sumarlan*. Universitas Halu Oleo Kendari.