

Pengaruh Lama Perendaman Air Hujan dan Air Laut Terhadap Nilai Durabilitas pada Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)

**Syafha Saqhila Ashari, Indrian Salsabila Ashar, St Fauziah Badaron,
Andi Alifuddin*, Bulgis**

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia

*andi.alifuddin@umi.ac.id

Diajukan: 01 Juli 2025, Revisi: 12 Juli 2025, Diterima: 30 Juli 2025

Abstract

The most dominant factor affecting the damage of the asphalt layer is caused by inundation of water, both seawater, and drainage water systems. Damage to the road due to water that wets the road can affect the asphalt, especially the adhesion of the asphalt is reduced. The purpose of this study is to analyze the effect of water and seawater immersion on the properties of the mixture and the value of the strength or durability of the AC WC mixture. The experimental method is a method used on test specimens in a mixture of air conditioning and toilet tests carried out by marshall and Durability tests. The results obtained in water immersion have an average strength value of 862.81 kg, while for seawater immersion has an average value of 834.81 kg. In the Durability test, the average IKS value obtained was 74.76% for seawater and 79.49% for rainwater, in the variation of seawater immersion in 24-48 hours, the IKS value was still above 75%, while for rainwater immersion in 24-60 hours, it was still above 75%. Mixtures soaked in rainwater perform better and are more resistant than mixtures immersed in seawater. Variations in immersion duration with testing on AC-WC mixtures affect the remaining strength record values. The value of the residual strength index with rainwater immersion is higher than the value of the residual strength record with rainwater immersion.

Keywords: Durability, Rainwater, Seawater

Abstrak

Faktor yang paling dominan mempengaruhi kerusakan lapisan aspal adalah genangan dari air, baik air laut, maupun air yang disebabkan oleh sistem drainase. Kerusakan pada jalan akibat air yang membasahi ruas jalan dapat mempengaruhi aspal, khususnya daya lekat aspal menjadi berkurang. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis pengaruh perendaman air dan air laut terhadap sifat campuran dan nilai kekuatan atau ketahanan campuran AC WC. Metode eksperimental adalah metode yang digunakan pada benda uji pada campuran AC WC dilakukan uji marshall serta Durabilitas. Hasil yang didapat pada perendaman air memiliki nilai kekuatan rata-rata mencapai 862,81 kg, sedangkan untuk perendaman air laut memiliki nilai rata-rata 834,81 kg. Pada pengujian Durabilitas nilai IKS yang didapatkan rata rata 74,76% untuk air laut dan untuk air hujan sebesar 79,49%, pada variasi perendaman air laut di 24-48 jam nilai IKS masih diatas 75% sedangkan untuk perendaman air hujan di 24-60 jam masih di atas 75%. Campuran yang direndam dalam air hujan berkinerja lebih baik dan lebih tahan daripada campuran yang terendam air laut. Variasi dalam durasi perendaman dengan pengujian pada campuran AC-WC memengaruhi pada nilai catatan kekuatan yang tersisa. Nilai indeks kekuatan residual dengan perendaman air hujan lebih besar daripada nilai catatan kekuatan tersisa dengan perendaman air hujan.

Kata Kunci: Durabilitas, Air Hujan, Air Laut

1. PENDAHULUAN

Menurut Undang-Undang Jalan No. 13/1980, jalan adalah segala infrastruktur transportasi darat, melingkupi segmen jalan, mulai dari bangunan pelengkap serta bagian yang diperuntukkan bagi lalu lintas. Aspal jalan di Indonesia pada umumnya rusak sebelum mencapai usia pakainya. Akibatnya, jalan berbasis perkerasan aspal harus bertahan dalam kondisi cuaca buruk.

Variabel yang paling banyak mempengaruhi kerusakan aspal disebabkan oleh genangan air dari air tanah, air laut, rembesan yang tidak menguntungkan, dan naiknya air karena kapilaritas. Hal ini disampaikan oleh (Syarkawi dkk., 2019) semakin lama permukaan jalan tergenangi oleh air, akan berdampak air mudah masuk ke dalam rongga perkerasan jalan. Banyak hal yang menyebabkan kerusakan pada konstruksi jalan, antara lain akibat pengaruh beban lalu lintas kendaraan yang berlebihan (*over loading*), temperatur, air (genangan) (Massara dkk., 2021). Dampak genangan air pada kerusakan pembangunan jalan dapat menyebabkan kekurangan pada batas daya dukung tanah dasar dan mempercepat proses kerusakan aspal.

Air Hujan yang membasahi jalan dapat merusak aspal jalan, terutama pada daya dukung aspal. Bentuk aspal jalan akan berubah jika terus menerus terendam air. Akibatnya, jika beban lalu lintas tidak sesuai dengan permukaan jalan, maka akan menimbulkan kerusakan tambahan. Pasang tinggi yang menggenangi daratan menyebabkan banjir, yang merupakan masalah di daerah di bawah permukaan laut. Demikian pula, air yang mengalir dari laut mengandung kadar kerusakan yang tinggi, sulfat (SO_4^{2-}), serta alkalinitas, yang dapat mengurangi kemampuan lapisan aspal untuk mengimbangi ikatan dan daya rekat antar agregat baik kohesi dan adhesinya. Memiliki adhesi yang baik dan meningkatkan interlocking antar agregat sehingga dapat meningkatkan kinerja perkerasan (Said dkk., 2021).

Ikatan aspal dan agregat sangat diperhatikan karena akan berdampak lemahnya ketahanan jalan hingga mengakibatkan deformasi. Menurut (Alifuddin & Arifin, 2020) Campuran aspal dengan gradasi rapat cenderung memiliki kinerja yang lebih baik dalam hal ketahanan terhadap deformasi permanen. Ikatan ini dapat terpengaruh oleh tingkat keasaman yang tinggi sama seperti halnya pada air laut, yang juga dapat memperlancar oksidasi dan menimbulkan kerusakan awal pada lapisan permukaan jalan. Dengan asumsi jalan diturunkan dalam kurun waktu 1 hari (standar kekuatan sisa Marshall), dan jika bobot angkutan melampaui standar peruntukan jalan, kondisi ini dapat memburuk. Hal ini dapat memengaruhi kondisi aspal, terutama kekuatannya sebagai pertimbangan ukuran marshall.

Untuk itu, pengujian perlu dilakukan pengujian Marshall dalam melihat sejauh mana tingkat kekokohan (stabilitas) dari kombinasi agregat dan aspal terhadap kelelahan plastis. Setelah pengujian Marshall dilakukan pengujian Durabilitas. Durabilitas merupakan ukuran seberapa awet lapisan permukaan jalan terhadap pengaruh air maupun cuaca dalam durasi yang lama (Salim dkk., 2019). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat keawetan akibat pengaruh lama perendaman. Indeks Kekuatan Sisa menjadi tolak ukur untuk melihat tingkat durabilitas campuran AC-WC.

Berdasarkan dari masalah kerusakan jalan diatas akibat genangan air maka perlu dilakukan penelitian dengan uji laboratorium dirangkum dalam sebuah judul penelitian “Pengaruh Lama Perendaman Air Hujan Dan Air Laut Terhadap Nilai Durabilitas Pada Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc)”.

Tujuan penelitian ini untuk menganalisis pengaruh perendaman air hujan dan air laut terhadap karakteristik campuran pada campuran AC-WC. Serta menganalisis pengaruh perendaman air hujan dan air laut terhadap nilai indeks kekuatan sisa/durabilitas pada campuran AC- WC.

2. METODE PENELITIAN

A. Gambaran Umum

Metode eksperimen laboratorium adalah teknik yang dilakukan pada tahapan penelitian ini. Kemudian agregat, baik agregat kasar dan agregat halus serta aspal menjadi spesimen pengujian untuk menguji akibat lama perendaman menggunakan air hujan dan juga air laut pada lapisan AC-WC. Selanjutnya dilakukan uji ketahanan dan Durabilitas untuk mengetahui kinerja campurannya.

B. Lokasi Penelitian

Kegiatan riset ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan Perkerasan, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Jalan Urip Sumoharjo Km.05 Makassar.

C. Metode Pengujian

a) Perencanaan Campuran

Kadar aspal ditentukan berdasarkan hasil perhitungan fraksi campuran yang didapatkan kadar aspal rencana serta penggabungan gradasi agregat.

$$P_b = 0,035a + 0,045b + K_c + F \quad (1)$$

b) Pembuatan Benda Uji

Setelah bagian-bagian substansial aspal diperiksa untuk memenuhi pra syarat, contoh uji dibuat berdasarkan aspal rencana yang telah disiapkan. Setelah dipanaskan dan dicampur hingga konsistensi dengan batas suhu campuran. Cetakan diisi dengan agregat dan aspal, yang dipadatkan dengan cara memukul hingga 75 kali tumbukan.

Tabel 1 Jumlah Briket dengan Variasi Aspal Pertamina untuk penentuan KAR dengan pengujian Marshall Test

Variasi Aspal Penetrasi Pertamina	Marshall Test
KAR -1%	3
KAR -0,5%	3
KAR	3
KAR +0,5%	3
KAR+1%	3
Jumlah	15 buah briket

Tabel 2 Jumlah sampel variasi menggunakan air laut dan air hujan

Kadar aspal (%)	Sampel		Lama Waktu Perendaman	Jumlah Benda Uji
	Air Laut	Air Hujan		
KAO (%)	3 buah	3 buah	24 Jam	6
	3 buah	3 buah	36 Jam	6
	3 buah	3 buah	48 jam	6
	3 buah	3 buah	60 Jam	6

Kadar aspal (%)	Sampel		Lama Waktu Perendaman	Jumlah Benda Uji
	Air Laut	Air Hujan		
	3 buah	3 buah	72 Jam	6
	Jumlah			30

c) Pengujian Marshall



Gambar 1 Alat Marshall Test

Mempersiapkan barang yang akan diuji dengan kadar aspal awal atau dasar yang telah didapatkan merupakan bagian dari langkah awal dalam Uji Marshall. Aspal dan agregat kemudian digabungkan secara merata sesuai persentase masing-masing suhu pencampuran yang memenuhi spesifikasi setelah disangrai pada suhu standar. Setelah itu lanjutkan mengaduk campuran agar aspal dapat mengisi rongga agregat. Setelah itu dipadatkan dengan cara ditumbuk sebanyak 75 kali dalam wadah yang sesuai. Benda uji kemudian dikeluarkan, didinginkan selama 24 jam dan tinggi sampel diukur dengan ketelitian 0,1 mm. Berat isi kemudian dapat ditentukan dengan menghitung berat dalam kondisi kering. Beratnya kemudian dihitung kembali ke dalam air dan permukaannya dikeringkan setelah direndam selama 24 jam.

d) Durabilitas

Langkah-langkah untuk pengujian ketahanan atau uji rendam, keringkan permukaan spesimen dalam water bath air dengan suhu mencapai 600°C dalam kurun waktu 30 menit, setelah itu letakkan di bagian alat uji Marshall yang tersedia. Tes ini diharapkan dapat menentukan kekokohan dan bahaya yang ditimbulkan oleh air.



Gambar 2 Water Bath

3. HASIL PENELITIAN

A. Hasil dan Pemeriksaan Agregat dan Aspal

Dari hasil analisa karakteristik benda uji telah lolos persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi II sesuai yang termuat tabel berikut ini :

Tabel 3 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar, Agregat Halus, dan Aspal

No.	Jenis Pemeriksaan	Agregat Kasar		Agregat Halus	Aspal	Spesifikasi
		1-2	0,5-1			
1.	Berat Jenis Agregat					
	a. Bulk	2,61	2,49	2,58		2,4-2,9
	b. SSD	2,67	2,56	2,70		2,4-2,9
	c. Apparent	2,77	2,68	2,51		2,4-2,9
	d. Penyerapan	2,20	2,88	2,89		≤3%
2.	Berat Isi					
	a. Gembur (gr/cm ³)	1,43	1,42			1,4-1,9
	b. Padat (gr/cm ³)	1,45	1,43	1,68		1,4-1,9
3.	Sand Equivalent	-	-	-		≥ 60%
4.	Sounness Test (%)	10,26	19,26	2,40		≤ 12%
5.	Kelekatan Terhadap Aspal (%)	96%	96%	-		≥ 95%
6.	Penetrasi 25oC (0,1 mm)				62,8	55-68
7.	Titik Lembek (oC)				52,5	≥ 49
8.	Daktilitas, 25oC (cm)				146	≥ 100
9.	Berat Jenis				1,030	≥ 1.0

B. Hasil dan Analisa Pengujian Marshall pada Campuran AC-WC untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

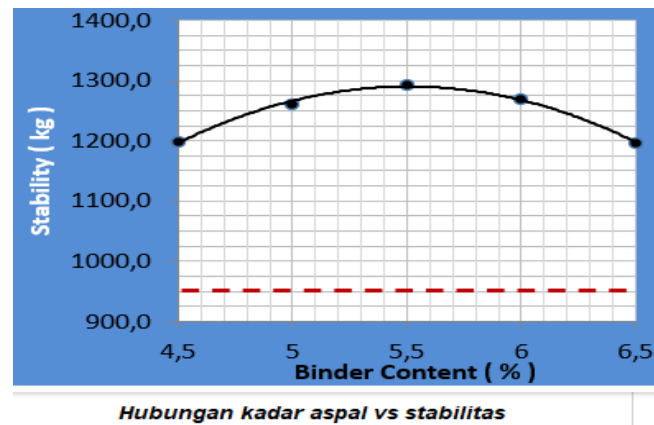
Karakteristik *Marshall* harus dihitung pada saat menganalisis hasil pengujian Marshall dengan mengatur jumlah aspal agar mendapatkan jumlah aspal terbaik. Varietas bahan kadar aspal yang dimanfaatkan adalah mulai 4,5% hingga 6,5%. Direncanakan pemadatan setiap variasi kadar aspal menggunakan jumlah tumbukan 2x75.

Tabel 4 Rekapitulasi Pengujian Marshall Campuran AC-WC Pen 60/70 untuk Kadar Aspal Optimum (KAO)

Karakteristik Marshall	Hasil Pengujian Kadar Aspal					Spesifikasi
	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	
Density	2,242	2,258	2,283	2,282	2,281	$\geq 2.2 \text{ kg/mm}^3$
VIM; %	7,765	6,499	4,833	4,250	3,685	3-5%
VMA; %	16,835	16,699	15,763	15,793	15,837	$\geq 15\%$
VFA; %	54,212	61,699	69,575	73,126	76,939	$\geq 65\%$
Stabilitas; kg	1198,46	1260,91	1293,42	1268,79	1196,88	800-1800 kg
Flow; mm	2,63	2,53	2,70	2,77	3,03	2-4 mm
MQ; kg/mm	455,68	498,46	483,28	460,74	395,18	Min 250

Seperti terlihat pada Tabel 4 berdasarkan hasil percobaan, nilai kadar aspal diperoleh berdasarkan karakteristik *Marshall*. Dari hasil analisis yang telah dilakukan, nilai kadar aspal optimal dapat diketahui berdasarkan standar campuran yang digunakan serta hasil Uji Marshall, kondisi kadar aspal optimal dapat ditentukan.

a) Hubungan Kadar Aspal terhadap Stabilitas



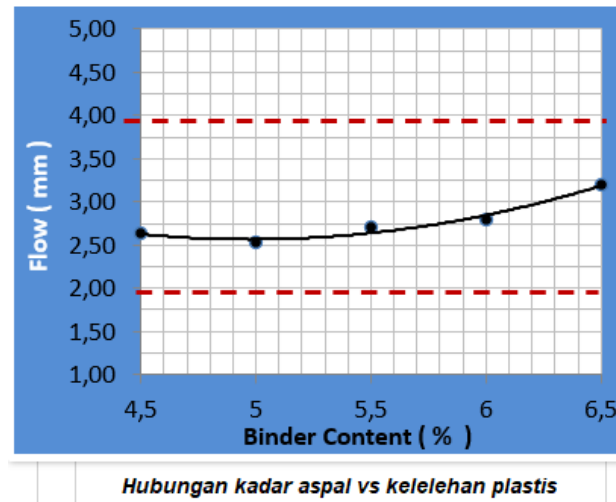
Gambar 3 Hubungan Kadar Aspal terhadap Stabilitas

Komposisi kadar aspal mulai 4,5% hingga 6,5% memenuhi syarat. Seperti yang terlihat gambar 3, makin tinggi kadar aspal maka menaikkan angka stabilitas terhadap kadar aspal ideal. Namun, kekokohan nya menurun apabila jumlah aspal yang ditambahkan lebih besar dari nilai ideal. Hal ini dikarenakan semakin tebalnya lapisan aspal dapat menyebabkan daya ikat agregat menjadi kurang efektif.

b) Hubungan Kadar Aspal terhadap Flow

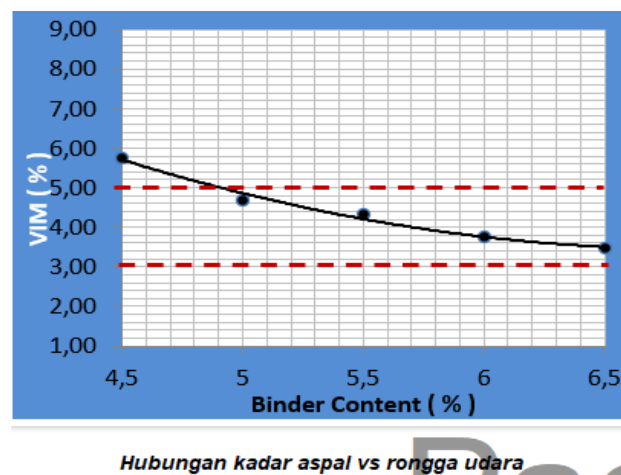
Nilai flow dari 4,5% aspal berkurang pada 5% dan meningkat pada angka 5,5% aspal. Seperti yang diterangkan pada gambar 4, Menerangkan campuran agregat dan aspal akan

terikat secara efektif dan memiliki nilai keruntuhan yang kecil seiring dengan bertambahnya jumlah aspal dalam campuran.



Gambar 4 Hubungan Kadar Aspal terhadap Flow

c) Hubungan Kadar Aspal terhadap Void in Mix (VIM)

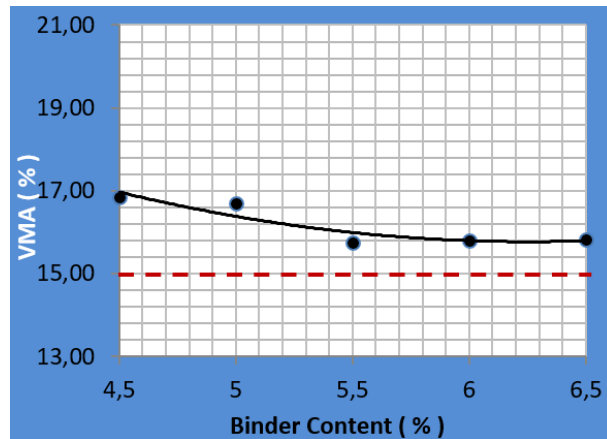


Gambar 5 Hubungan Kadar Aspal terhadap Void in Mix (VIM)

Dari hasil pengujian telah dilakukan, perolehan data nilai VIM aspal 4,5% dan 5% tidak memenuhi ketentuan, yaitu 3% - 5%. Pada aspal mulai 5,5%, kemudian 6% dan 6,5% memenuhi ketentuan. Pori dalam campuran makin mengecil dengan setiap penambahan kadar aspal, seperti terlihat pada gambar 5.

d) Hubungan Kadar Aspal terhadap Voids in Mineral Aggregate (VMA)

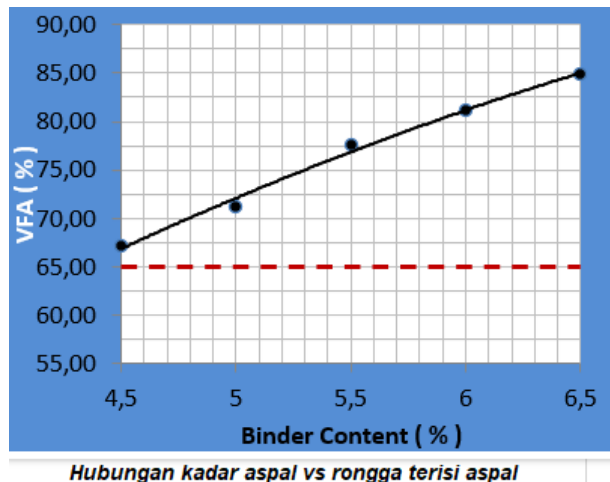
Hasil perolehan data seperti terlihat pada gambar 6, menerangkan bahwa setiap jenis aspal dalam campuran secara umum mencukupi nilai VMA dalam campuran terhadap pedoman ketentuan Bina Marga, yaitu minimal 15%. Terlihat pada gambar tersebut, angka VMA meningkat dengan setiap aspal tambahan karena pori antar agregat total bertambah.



Gambar 6 Hubungan Kadar Aspal terhadap Voids in Mineral Aggregate (VMA)

e) Hubungan Kadar Aspal terhadap Voids Filled with Asphalt (VFA)

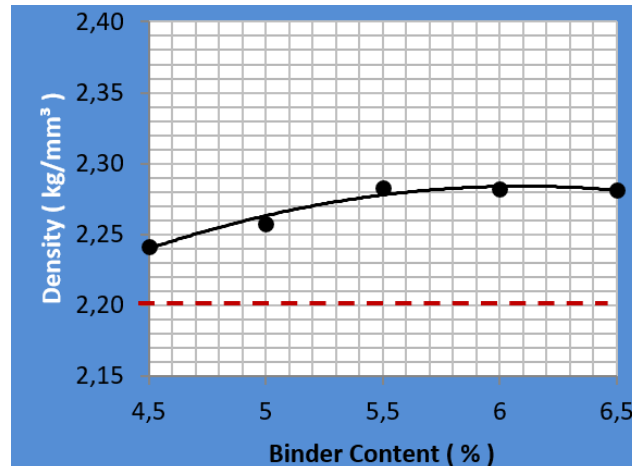
Dari perolehan data dari gambar 7, terlihat kadar aspal 4,5% hingga 6,5% mencukupi rincian standar VFA tidak kurang dari 65%. Nilai VFA campuran meningkat sebanding dengan jumlah aspal yang ada. Hal ini diakibatkan kadar aspal yang sangat tinggi mengisi seluruh pori sehingga tidak hanya rongga di dalam pori yang terisi aspal saja tetapi rongga di antara butiran aspal (VIM) juga terisi aspal.



Gambar 7 Hubungan Kadar Aspal terhadap Voids Filled with Asphalt (VFA)

f) Hubungan Kadar Aspal terhadap Density

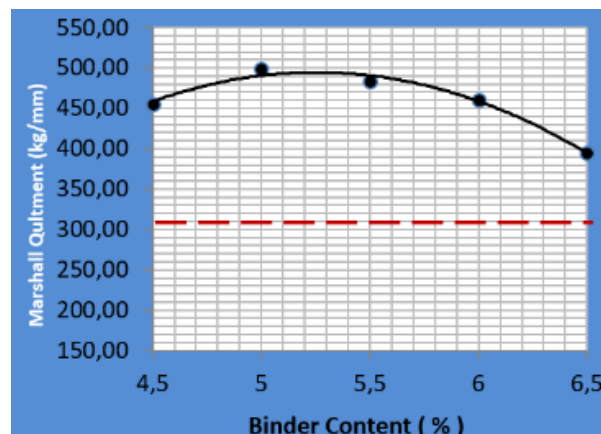
Perolehan data pada gambar 8, mengindikasikan nilai density mulai dari kadar aspal 4,5%, nilai density meningkat, begitu pula pada angka 5,5% dan pada angka 4,5% sampai 6,5%, nilai density telah lolos dari standar. Setelah melewati kadar aspal ideal, nilai density menurun. Nilai kepadatan menurun setelah melewati kadar aspal optimal dan nilai kepadatan mengalami peningkatan seiring dengan jumlah aspal yang diperlukan dalam campuran.



Gambar 8 Hubungan Kadar Aspal terhadap Density

g) Hubungan Kadar Aspal terhadap Marshall Quotient (MQ)

Penjelasan yang dapat ditarik dari hasil analisis grafik 9 adalah pada saat nilai kadar aspal naik mulai 4,5 persen sampai 6,5 persen, artinya angka tersebut telah memenuhi standar persyaratan dan mengalami kenaikan pada setiap penambahan kadar aspal. Akan tetapi, terjadi kemunduran pada kadar aspal 5,5%. Sehingga mengakibatkan pelelehan atau flow melonjak seiring dengan bertambahnya kadar aspal dan stabilitas akan terjadi penurunan seiring dengan kadar aspal yang melampaui nilai stabilitas maksimum.



Gambar 9 Hubungan Kadar Aspal terhadap Marshall Quotient (MQ)

C. Pengaruh Perendaman Air Laut dan Air Hujan terhadap Karakteristik Marshall

Hasil stabilitas menunjukkan bahwa campuran tersebut sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018 ketika direndam dalam air hujan. Dimana nilai stabilitas berkurang agak kontras dengan perendaman menggunakan air. Nilai stabilitas untuk waktu perendaman 24 jam sebesar 1128,86 kg pada kadar aspal, nilai stabilitas untuk waktu perendaman 36 jam sebesar 1032,29 kg, nilai stabilitas untuk waktu perendaman 48 jam sebesar 991,84 kg nilai stabilitas untuk waktu perendaman 60 jam sebesar 953,99 kg dan nilai stabilitas untuk waktu perendaman 72 jam sebesar 919,25 kg. Hal ini disebabkan karena bentuk perkerasan dapat berubah seiring waktu akibat pengaruh air hujan yang terus menerus. Nilai stabilitas lebih rendah jika menggunakan air laut untuk perendaman, namun masih memenuhi

persyaratan Bina Marga 2018 sebesar 75%. Setelah 24 jam perendaman, nilai stabilitas sebesar 1031,71 kg; setelah 36 jam sebesar 1004,84 kg; setelah 48 jam sebesar 991,84 kg; setelah 60 jam sebesar 953,99 kg; dan setelah 72 jam memiliki nilai stabilitas paling rendah, yaitu 919,25 kg. Rekapitulasi Pengujian Marshall Test Menggunakan Air Laut dan Air Hujan.

Tabel 5 Rekapitulasi Pengujian Marshall Test Menggunakan Air Laut dan Air Hujan

Sifat-sifat campuran	Hasil Pengujian										Spesifikasi
	Air Laut					Air Hujan					
Density	2,24	2,24	2,24	2,23	2,22	2,27	2,27	2,27	2,26	2,25	≥ 2.2 kg/mm3
VIM; %	4,65	4,69	4,86	5,27	5,91	4,05	4,09	4,26	4,67	5,31	3 – 5 %
VMA; %	18,00	18,03	18,18	18,54	18,83	16,40	16,43	16,58	16,94	17,23	≥ 15%
VFA; %	82,32	82,12	81,30	79,45	77,95	75,32	75,12	74,30	72,45	70,95	≥ 65%
Stabilitas; kg	857,50	842,13	838,08	821,57	814,78	885,50	870,13	866,08	849,57	842,78	800-1800 kg
Flow; mm	2,50	2,67	2,70	2,90	2,97	2,50	2,67	2,70	2,90	2,97	Min 2 mm
MQ; kg/mm	343,00	324,40	310,40	283,30	274,34	316,25	292,97	288,69	265,49	257,73	Min 180

4. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

- 1) Variasi lama perendaman menggunakan Air Laut dan juga Air Hujan pada lapisan komposisi AC-WC berpengaruh terhadap nilai stabilitas, untuk perendaman air laut nilai rata-ratanya sebesar 834,81 kg sedangkan untuk perendaman air hujan nilai rata-ratanya 862,81 kg. Campuran dengan perendaman air hujan cenderung lebih baik dan tahan dari campuran dengan perendaman air laut. Hal ini karena air laut memiliki kandungan keasaman dan sulfat yang tinggi yang dapat melemahkan kemampuan aspal untuk menahan penyatuan dan ikatan antar total baik kohesi maupun adhesi.
- 2) Berdasarkan metode lama perendaman dan pengujian durabilitas pada campuran AC WC, nilai indeks kekuatan residual terpengaruh. Saat uji perendaman, nilai indeks kekuatan sisa air hujan lebih tinggi dibandingkan bercampur dengan air laut. Berdasarkan analisis perendaman campuran secara terus menerus dapat mengakibatkan mutu perkerasan berkurang yang ditandai dengan penurunan nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS).

B. Saran

- 1) Khususnya di sepanjang pantai, akan lebih baik jika permukaan jalan tidak terendam dalam waktu yang lama. Pemeliharaan rutin harus dilakukan untuk mengosongkan air dari permukaan jalan atau selama pembangunan kemiringan permukaan jalan dan rembesan harus dipikirkan agar genangan air tidak muncul ke permukaan.
- 2) Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut ke depannya dengan campuran yang berbeda dan pengujian yang berbeda juga, seperti ITS, WTM dan lain-lain.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Ali, N., Hustim, M., & Patu, F. T. (2004). Analisis Indeks Durabilitas Campuran Beraspal Berbasis Asbuton Lawele. *Teknik Sipil Universitas Hasanuddin*, 54(33), 1–10. <http://repository.unhas.ac.id/handle/123456789/12756>
- Alifuddin, A., & Arifin, W. (2020). Analisis Durabilitas Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) Terhadap Penggunaan Serat Selulosa (Serat Asbes). *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 5(2), 84–95. <https://doi.org/10.33096/jtsm.v5i2.78>
- Bina, M. (1983). *Petunjuk Perkerasan Lapisan Aspal Beton (Laston)*. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Bina, M. (1987). *Bina Marga, 1987, Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston)*. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Bina, M. (2010). *Campuran Beraspal Panas Dengan Asbuton Lawele* (Vol. 2013, Nomor 021). Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Bintang Ramadhan, G., & Budi Suparma, L. (2018). Pengaruh Penggunaan Pasir Kuarsa pada Laston AC-WC sebagai Pengganti Agregat Halus. *Jurnal Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia*, 4(2), 91–104.
- Departemen Pekerjaan Umum Bina Marga. (1987). *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen*. Yayasan Badan Penerbit PU, 73(02), 1–41.
- Hadi, A. (2011). Karakteristik Campuran Asphalt Concrete–Wearing Course (Ac-Wc) Dengan Penggunaan Abu Vulkanik Dan Abu Batu Sebagai Filler. *Jurnal Rekayasa*, 15(1), 14–24.
- Haris. (2019). Analisis Pengujian Stabilitas dan Durabilitas Campuran Aspal dengan Tes Perendaman. *Jurnal Linears*, 2(1), 33–47. <https://doi.org/10.26618/j-linears.v2i1.3026>
- Kusharto, H. (2007). Terhadap Perilaku Campuran Beton Aspal. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 9(1), 55–63.
- Massara, A., Arifin, W., Alifuddin, A., Ramadhan, M. F., & Taufiq, M. (2021). Analisa Deformasi pada Campuran Aspal Beton Menggunakan Derbo dan Wetfix. *PENA TEKNIK: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 6(2), 61. https://doi.org/10.51557/pt_jiit.v6i2.681
- Metode Pengujian Penetrasi Bahan-Bahan Bitumen*. (1991). 6–9.
- Mukhlis, M., Lusyana, L., Suardi, E., & Adibroto, F. (2019). Analisis Kinerja Indeks Kekuatan Sisa (Iks) Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc) Dengan Cangkang Sawit Sebagai Substitusi Agregat Halus. *Fondasi : Jurnal Teknik Sipil*, 8(1). <https://doi.org/10.36055/jft.v8i1.5403>
- Nofrianto, H., & Dwi Astika, S. (2023). Kajian Pasir Silika Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (Ac – Wc) Berdasarkan Uji Marshall. *Jurnal Teknologi dan Vokasi*, 1(2), 53–66. <https://doi.org/10.21063/jtv.2023.1.2.7>

- Permana, M. I. H., Tahadjuddin, & Kurniawati, E. K. (2019). Pemanfaatan Pasir Kuarsa dan Fly Ash pada Campuran Laston AC-BC. *Jurnal Ilmiah SANTIKA*, 9(2), 969–978.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. (1990). Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. SNI 03-1968-1990. *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia*, 1–17.
- Rian.P. (2011). Kajian Laboratorium Sifat Marshall Dan Durabilitas Asphalt Concrete - Wearing Course (Ac-Wc) Dengan Membandingkan Penggunaan Antara Semen Portland Dan Abu Batu Sebagai Filler. *Construction and Building Materials*, 6(March), 116–123.
[http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:THE+EFFECT+OF+WARM+MIX+ASPHALT+ADDITIVE+\(+SASOBIT+?+\)+ON+DETERMINATION+OF+OPTIMUM+BITUMEN+CONTENT#0%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:THE+EFFECT+OF+WARM+MIX+ASPHALT](http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:THE+EFFECT+OF+WARM+MIX+ASPHALT+ADDITIVE+(+SASOBIT+?+)+ON+DETERMINATION+OF+OPTIMUM+BITUMEN+CONTENT#0%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:THE+EFFECT+OF+WARM+MIX+ASPHALT)
- Rumagit, S. E. R., Kaseke, O. H., & Palenewen, Steve Ch, N. (2017). Pengaruh Energi Pemadatan Benda Uji Terhadap Besaran Marshall Campuran Beraspal Panas Bergradasi Senjang. *Jurnal Sipil Statik*, 5(8), 533–540.
<https://ejournal.unsrat.ac.id/v2/index.php/jss/article/view/17640>
- Said, L. B., Alifuddin, A., & Ibrahim, Z. (2021). Analisis Poisson Ratio dan Ketahanan Deformasi Campuran AC-WC Substitusi Pasir Silika. *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 6(1), 36–47. <https://doi.org/10.33096/jtsm.v6i1.277>
- Salim, Arifin, W., Massara, A., Damopolii, A. T. A., & Faisal. (2019). Analisis Pengaruh Perendaman terhadap Durabilitas dan Kuat Tarik Tidak Langsung pada Campuran Beton Aspal. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil*, 1, 324–331.
<https://jurnal.ft.umi.ac.id/index.php/JILMATEKS/article/view/463>
- Setiawan, A. D. A. (2014). Pengaruh Penuaan Dan Lama Perendaman Terhadap Durabilitas Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc). *Tesis doctoral*, 2014(June), 1–2.
https://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/39127%0Ahttps://cris.brighton.ac.uk/ws/portalfiles/portal/4755978/Julius+Ojebode%27s+Thesis.pdf%0Ausir.salford.ac.uk/29369/1/Angela_Darvill_thesis_esubmission.pdf%0Ahttps://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/ha
- SNI 06-2489-1991. (1991). Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall. *Badan Standardisasi Nasional*, 1, 7.
- Sukirman, S. (2010). Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur. In *Nova Bandung*.
- Syahrul. (2012). Perkerasan Campuran Aspal Beton (AC-BASE) Dengan Material Lokal Kutai Kartanegara. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 14(2), 111–120.
- Syarkawi, M. T., Arifin, W., Anies, M. K., Sari, M., & Montolalu, W. (2019). Pengaruh Variasi Lama Perendaman Terhadap Durabilitas Campuran Aspal dengan Abu Sekam Kayu pada Perkerasan Asphalt Concrete – Wearing course. *Journal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil*, 1(2), 218–225.