

Pengaruh Durasi Perendaman Aspal *Hot Rolled Sheet* - *Wearing course* (HRS-WC) Dengan Air laut Terhadap Karakteristik *Marshall* Menggunakan Limbah Galian C Sebagai Agregat Halus dan *Filler*

The Effect of Soaking Time of Hot Rolled Sheet - Wearing course (HRS-WC) in Seawater on Marshall Characteristics Using Excavated Waste C as Fine Aggregate and Filler

Ahmad Januardi¹, Iqbal², Asrul Saputra³, Faried Desembardi⁴, dan Dwi Guntoro S⁵

(1,2,3,4,5) Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sorong

Abstrak

Kerusakan jalan di wilayah pesisir sering terjadi akibat genangan air laut atau banjir rob dengan kadar garam tinggi yang mempercepat penurunan daya ikat aspal terhadap agregat serta stabilitas campuran. Kondisi ini menjadi tantangan dalam menjaga keberlanjutan infrastruktur jalan. Di sisi lain, Kota Sorong menghadapi persoalan limbah galian C dari aktivitas penambangan pasir yang berpotensi mencemari lingkungan, namun juga dapat dimanfaatkan sebagai material alternatif perkerasan. Penelitian ini menggunakan metode uji *Marshall* pada campuran HRS-WC dengan kadar aspal optimum 7,7%, aspal pen 60/70, agregat kasar dari Quarry PII Sorong, serta agregat halus limbah galian C. Benda uji direndam dalam air laut dengan variasi durasi 6, 12, 24, dan 48 jam, baik di laboratorium maupun di lapangan (pesisir pantai Tembok Berlin, Sorong). Parameter yang diamati meliputi *VITM*, *VMA*, *VFVA*, stabilitas, *flow*, *MQ*, dan *density*. Hasil menunjukkan bahwa perendaman air laut memengaruhi seluruh parameter *Marshall*, dengan kecenderungan penurunan pada stabilitas, *VITM*, dan *MQ*, serta fluktuasi pada *VFVA*, *VMA*, *flow*, dan *density*. Sebagian besar nilai masih sesuai spesifikasi Bina Marga (2018), meskipun kinerja mekanis menurun seiring lamanya perendaman. Perbedaan antara hasil laboratorium dan lapangan dipengaruhi faktor lingkungan alami. Dengan demikian, limbah galian C berpotensi dimanfaatkan, namun ketahanannya di wilayah pesisir memerlukan kajian lebih lanjut.

Kata Kunci: Limbah Galian C, Perendaman, *Marshall*, KAO, Air Laut

Abstract

Road damage in coastal areas often occurs due to seawater flooding or tidal flooding with high salt content, which accelerates the deterioration of asphalt's binding power to aggregates and the stability of the mixture. This condition poses a challenge in maintaining the sustainability of road infrastructure. On the other hand, the city of Sorong faces the issue of C-grade excavation waste from sand mining activities, which has the potential to pollute the environment, but can also be utilised as an alternative paving material. This study used the *Marshall* test method on HRS-WC mixtures with an optimum asphalt content of 7.7%, 60/70 asphalt, coarse aggregate from Quarry PII Sorong, and fine aggregate from excavation waste. The test specimens were immersed in seawater for various durations of 6, 12, 24, and 48 hours, both in the laboratory and in the field (Tembok Berlin beach, Sorong). The parameters observed included *VITM*, *VMA*, *VFVA*, stability, *flow*, *MQ*, and *density*. The results showed that seawater immersion affected all *Marshall* parameters, with a tendency for a decrease in stability, *VITM*, and *MQ*, as well as fluctuations in *VFVA*, *VMA*, *flow*, and *density*. Most values still meet Bina Marga specifications (2018), although mechanical performance decreases with prolonged immersion. Differences between laboratory and field results are influenced by natural environmental factors. Thus, quarry waste has potential for utilisation, but its durability in coastal areas requires further study.

Translated with DeepL.com (free version)

Keywords: Excavated Waste C, Soaking, *Marshall*, KAO, Seawater

PENDAHULUAN

Jalan merupakan infrastruktur vital yang mendukung aktivitas sosial dan ekonomi, namun ketahanannya sering menurun akibat faktor lingkungan maupun non-lingkungan. Genangan air hujan dan banjir rob terbukti mempercepat kerusakan dengan melemahkan ikatan aspal dan agregat (Sukron et al., 2023). Perbedaan kandungan mineral dan garam antara air hujan dan air laut diduga memberikan dampak yang berbeda terhadap tingkat kerusakan. Kondisi tersebut umumnya menjadi lebih buruk pada wilayah pesisir yang sering mengalami banjir rob. Dengan demikian, diperlukan pengembangan material konstruksi alternatif yang memiliki ketahanan lebih baik terhadap pengaruh perendaman air laut, guna mendukung keberlanjutan infrastruktur jalan di daerah rawan tersebut. Di sisi lain, limbah galian C dari aktivitas penambangan pasir di Kota Sorong terus meningkat dan menimbulkan dampak lingkungan seperti sedimentasi sungai dan gangguan drainase (Fajar et al., 2024). Penelitian Jusmidah (2018), Sabarno & Farida (2022) membuktikan perendaman air laut secara laboratorium mengurangi stabilitas dan durabilitas aspal HRS-WC, namun studi mengenai pemanfaatan limbah galian C sebagai agregat halus dan *Filler* pada campuran aspal yang diuji langsung dengan perendaman air laut masih terbatas. Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan melakukan perendaman di laboratorium dan lapangan dengan variasi durasi 6, 12, 24, dan 48 jam. Penelitian ini menggunakan aspal pertamina

(*)Corresponding author

Telp :

E-mail :

<http://doi.org/xxx>

Received xx Bulan Tahun; Accepted xx Bulan Tahun; Available online xx Bulan Tahun

E-ISSN:

penetrasi 60/70, agregat kasar berasal dari PII Quarry Sorong, serta agregat halus limbah galian C yang berasal dari Malanu Kampung, kelurahan Klagete, Kota Sorong dan perendaman air laut dari pesisir pantai Tembok Berlin, jalan Yos. Sudarso, Distrik Sorong, Kota Sorong.

TINJAUAN PUSTAKA

Aspal

Menurut Rahmat et al. (2021), Aspal adalah bahan perekat terdiri dari campuran bitumen dan mineral yang terjadi di alam atau dapat diperoleh dari residu penyaringan minyak bumi atau hasil dari penyulingan batubara, sehingga dapat mencair ketika dipanaskan hingga suhu pada titik panas tertentu dan membeku kembali ketika suhu mengalami penurunan. Berikut ini ketentuan sifat-sifat aspal keras dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Ketentuan Sifat - Sifat Aspal Keras

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Nilai Persyaratan
1	Penetrasi 25°C (0,1 mm)	SNI-2456:2011	60-70
2	Titik Lembek (°C)	SNI-2434:2011	≥ 48
3	Daktilitas 25°C (cm)	SNI-2432:2011	≥ 100
4	Titik Nyala (°C)	SNI-2433:2011	≥ 232
5	Kelarutan Dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥ 99
6	Berat Jenis	SNI-24441:2011	≥ 1,0

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga 2018

Agregat

Agregat adalah formasi kulit bumi yang keras dan kaku yang digunakan sebagai bahan campuran yang terdiri dari berbagai jenis butiran atau pecahan termasuk di dalamnya pasir, krikil, agregat pecah dan debu (Rahmat et al., 2021). Cara membedakan jenis-jenis agregat yang paling banyak dilakukan didasarkan pada ukuran butirnya. Agregat yang butir-butirnya lebih besar dari 4,80 mm disebut agregat kasar dan agregat yang butir-butirnya lebih kecil dari 4,80 mm disebut agregat halus. Berikut ini ketentuan agregat kasar dan halus dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3 berikut.

Tabel 2. Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian	Metoda Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks.12 %
magnesium sulfat		Maks.18 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran
		500 putaran
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran
		500 putaran
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar	SMA	100/90 ^{*)}
	Lainnya	95/90 ^{**)}
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA	Maks. 5%
	Lainnya	Maks. 10%
Material lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117: 2012	Maks. 1%

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga 2018

Tabel 3. Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metoda Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min.50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Agregat Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117: 2012	Maks. 10%

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga 2018

Hot Rolled Sheet – Wearing course (HRS – WC)

HRS-WC (*Hot Rolled Sheet – Wearing course*) merupakan jenis campuran beraspal panas yang dirancang khusus untuk digunakan pada lapisan permukaan (*wearing course*) perkerasan jalan. Campuran ini memiliki karakteristik

gradasi agregat semi terbuka hingga terbuka, yang memungkinkan terbentuknya tekstur permukaan kasar guna meningkatkan daya gesek antara ban kendaraan dan permukaan jalan. Kandungan aspal pada *HRS-WC* relatif tinggi, yaitu berkisar antara 6% hingga 8%, dengan tambahan *Filler* dalam jumlah yang signifikan untuk meningkatkan kohesi antar partikel agregat serta durabilitas campuran terhadap pengaruh air dan suhu. Komposisi gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, yang dinyatakan sebagai persentase berat total agregat dan bahan pengisi, disyaratkan untuk memenuhi kriteria sebagaimana tercantum pada Tabel 4 dan Ketentuan Sifat - Sifat Campuran laston pada tabel 5.

Tabel 4. Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Laston

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos Terhadap Total Agregat Laston (HRS)	
ASTM	(mm)	WC	Base
1½"	37,5		
1"	25		
¾"	19	100	100
½"	12,5	90 - 100	90 - 100
⅜"	9,5	75 - 85	65 - 90
No.4	4,75		
No.8	2,36	50 - 72	35 - 55
No.16	1,18		
No.30	0,600	35 - 60	15 - 35
No.50	0,300		
No.100	0,150		
No.200	0,075	6 - 10	2 - 9

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga 2018

Tabel 5. Ketentuan Sifat - Sifat Campuran laston

Sifat-sifat Campuran		Laston	
		Lapis Aus	Lapis Fondasi
Kadar aspal efektif (%)	Min	5,9	5,5
Jumlah tumbukan per bidang			50
Rongga dalam campuran (%) ⁽⁴⁾	Min.		4,0
	Maks.		6,0
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	17	17
Rongga terisi aspal (%)	Min.		68
Stabilitas Marshall (kg)	Min.		600
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.		250
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C ⁽⁵⁾	Min.		90

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga 2018

Limbah Galian C

Limbah galian C merupakan hasil samping dari aktivitas penambangan material konstruksi seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan tanah yang tergolong dalam kategori bahan galian non-logam atau bukan logam industri. Aktivitas pertambangan galian C umumnya dilakukan untuk memenuhi kebutuhan infrastruktur, khususnya dalam bidang konstruksi jalan dan bangunan. Kegiatan penambangan bahan galian telah menyebabkan sejumlah dampak negatif terhadap lingkungan, termasuk penurunan tingkat permukaan tanah, erosi, sedimentasi, kebisingan, debu, dan gangguan terhadap muka air tanah (Rahmatullah dkk., 2024). Pemanfaatan limbah galian C sebagai bahan bangunan berkelanjutan merupakan langkah strategis dalam mendukung pembangunan ramah lingkungan. Penggunaan limbah ini tidak hanya berpotensi mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, tetapi juga menekan biaya produksi konstruksi dan mendukung prinsip ekonomi sirkular.

Penentuan Nilai Tengah Kadar Aspal

Dalam menentukan nilai tengah kadar aspal pada campuran AC-WC untuk mencari nilai KAO, dapat menggunakan persamaan berikut ini.

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%Filler) + \text{konstanta} \dots\dots\dots 1$$

Keterangan:

- P_b** : kadar aspal perkiraan,
CA : agregat kasar (*coarse aggregate*),
FA : agregat halus (*fine aggregate*),
Filler : agregat halus lolos saringan No. 200, dan
Konstanta : 2 sampai 3 untuk campuran laston

Karakteristik Marshall

Pengujian *Marshall* adalah pengujian yang dilakukan guna mengetahui kinerja dari suatu campuran aspal. Parameter uji *Marshall* terdiri dari stabilitas (*stability*), kelelahan (*Flow*), *MQ* (*Marshall Quotient*), *VITM* (*Void in the Total Mix*), *VFWA* (*Void Filler Witth Asphalt*), *VMA* (*Void in Mineral Agregat*), dan kepadatan (*Density*). Berikut ini persamaan untuk parameter *Marshall*.

Stabilitas

$$qs = p \times q \dots\dots\dots 2$$

Keterangan

- Qs : nilai stabilitas (kg)
 p : pembacaan nilai arloji stabilitas $\times$ kalibrasi *proving ring*
 q : angka koreksi tebal benda uji (kg)

VITM

$$VITM = 100 - (100 \times \frac{G}{H}) \dots\dots\dots 3$$

Keterangan :

- VITM : rongga udara setelah pemadatan (%)
 G : berat volume benda uji (gr)
 H : berat jenis maksimum teoritis

VFWA

$$VFWA = 100 \times (\frac{1}{VMA}) \dots\dots\dots 4$$

Keterangan :

- VFWA : rongga udara terisi aspal (%)
 VMA : rongga udara pada mineral agregat (%)
 $i = \frac{bxg}{BJ \text{ Aspal}}$

VMA

$$VMA = 100 - j \dots\dots\dots 5$$

Keterangan :

- VMA : rongga udara pada mineral agregat (%)
 $J = (\frac{(100-b) \times o}{BJ \text{ Agregat}})$

Marshall Quotient (MQ)

$$MQ = \frac{S}{R} \dots\dots\dots 6$$

Keterangan :

- S : nilai stabilitas (kg)
 R : nilai *Flow* (mm)
 MQ : nilai *Marshall Quotient* (kg/mm)

Kepadatan (Density)

$$G = \frac{C}{F} \dots\dots\dots 7$$

Keterangan:

- G : *Density* (gr/cc)
 C : berat benda uji sebelum kering (gr)
 F : volume atau isi (cm³)

METODE

Metode yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental. Dalam penelitian ini, eksperimen dilakukan di laboratorium dengan memberikan perlakuan berupa perendaman terhadap campuran beraspal panas jenis *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)* dengan substitusi agregat halus limbah galian C. Durasi perendaman 6 jam, 12 jam, 24 jam, dan 48 jam. Benda uji pada penelitian ini diproduksi melalui dua tahapan. Tahap pertama adalah pembuatan benda uji dengan 5 variasi kadar aspal, yaitu 6%, 6,5%, 7,0%, 7,5%, dan 8%, sebanyak 15 sampel. Selanjutnya, tahap kedua adalah pembuatan benda uji pada kondisi KAO sebanyak 24 sampel untuk perendaman air laut.

Pemeriksaan dan Pengujian Material

Pengujian karakteristik material dilakukan untuk memastikan kesesuaian bahan yang digunakan dengan spesifikasi yang berlaku. Pengujian meliputi aspal penetrasi 60/70, analisis saringan, berat jenis, *sand equivalent*, berat isi agregat, serta keausan agregat.

Perancangan dan Pencampuran Aspal

Rancangan campuran (*Mix Design*) disusun mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga (2018) dengan menggunakan material berupa aspal, agregat, dan *Filler* Limbah Galian C. Proses pencampuran dilakukan dengan memanaskan agregat kasar, agregat halus, dan aspal, kemudian menuangkan aspal panas ke dalam agregat pada suhu pencampuran sekitar 160°C. Campuran yang terbentuk dipadatkan pada suhu 145°C dengan cara ditumbuk masing-masing sebanyak 50 kali pada sisi atas dan bawah. Setelah proses pemadatan, benda uji diukur diameter serta tingginya, lalu dilanjutkan dengan pengujian pada kondisi Kadar Aspal Optimum (KAO).

Marshall Test

Benda uji terlebih dahulu direndam pada suhu ruang selama 24 jam. Sebelum dilakukan pengujian *Marshall*, sampel ditimbang dalam kondisi terendam air, kemudian dimasukkan ke dalam *waterbath* selama 30 menit pada suhu $\pm 60^\circ\text{C}$. Setelah tahap perendaman tersebut, dilakukan pembebanan menggunakan alat *Marshall Test*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Material Penyusun Campuran Aspal

Berikut ini adalah nilai rekapitulasi hasil pengujian karakteristik material yang meliputi aspal dan agregat sebagai material penyusun campuran *HRS-WC* dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Material

No	Nama Pengujian	Acuan	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Aspal			
	a. Penetrasi	SNI 2456:2011	66	
	b. Viskositas	ASTM D 2170-10	272,5	
	c. Titik Lembek	SNI 2434:2011	49	
	d. Daktilitas	SNI 2432:2011	> 146	Memenuhi
	e. Titik Nyala	SNI 06-2433:1991	314	
	f. Kelarutan TCE	AASHTO T44-14 SNI	99,87	
	g. Berat Jenis	2441:2011	1,03	
2	Agregat Kasar			
	a. Berat Jenis	SNI 03-1970:1990	2,72	
	b. Keausan dengan mesin Los Angeles	SNI 2417:2008	22,79	Memenuhi
3	Agregat Halus			
	a. Berat Jenis	SNI 1961:2016	2,56	Memenuhi
	b. <i>Sand Equivalent</i>		80,21	

Sumber : Hasil Pengujian, 2025

Berdasarkan Tabel 6 diatas, dapat disimpulkan bahwa seluruh pengujian karakteristik material memenuhi syarat yang telah ditetapkan oleh spesifikasi yang menjadi acuan dan dapat digunakan sebagai material pencampuran campuran *HRS-WC*.

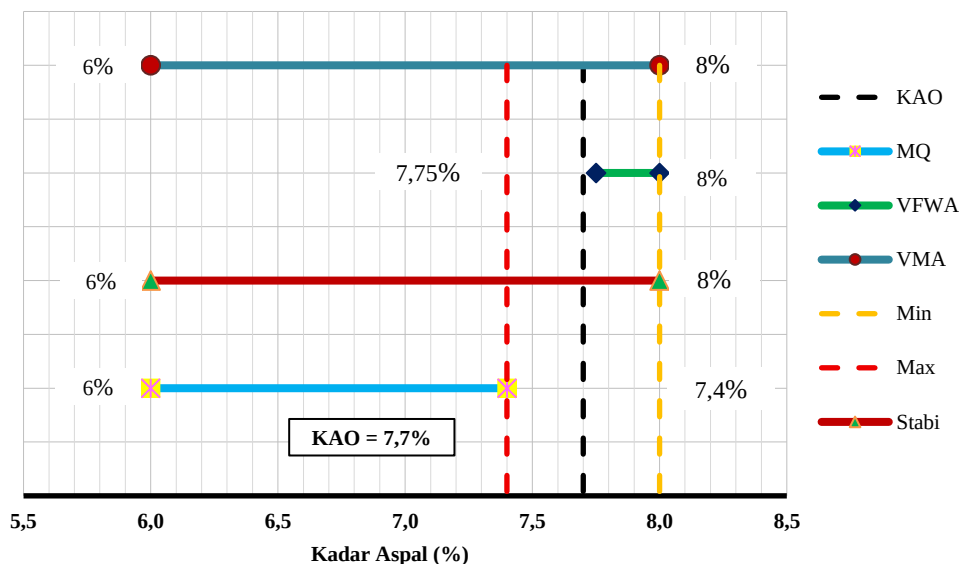
Hasil Pengujian Marshall Standard

Setelah dilakukan perhitungan (*Mix Design*), dilanjutkan dengan pengujian *Marshall Standard* untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran *HRS-WC*. Rekapitulasi hasil pengujian *Marshall* dengan penggunaan limbah galian C sebagai agregat halus dan *Filler* dapat dilihat pada Tabel 7, sedangkan penentuan nilai KAO pada campuran *HRS-WC* disajikan pada Gambar 1 berikut ini.

Tabel 7. Hasil Pengujian *Marshall* Penggunaan agregat halus dan *Filler* limbah galian C pada Campuran *HRS-WC*

Kadar Aspal	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
6,0	1006,95	3,42	285,14	17,43	39,35	28,69	2,00
6,5	1185,32	3,72	318,65	15,27	50,99	29,23	2,07
7,0	1265,71	3,97	275,40	14,05	53,80	29,72	2,05
7,5	1104,21	4,05	240,50	12,80	60,76	29,04	2,07
8,0	812,56	4,10	215,67	9,81	74,58	26,38	2,11
Spesifikasi	>600	-	>250	4-6	>68	>18	-

Sumber: Hasil Pengujian, 2025



Gambar 1. Nilai Kadar Aspal Optimum Campuran HRS-WC menggunakan agregat halus dan Filler limbah galian C
Sumber: Hasil Pengujian, 2025

Berdasarkan Gambar 1 diperoleh nilai kadar aspal optimum untuk campuran HRS-WC menggunakan aspal Pertamina pen 60/70, agregat halus dan Filler limbah galian C yaitu sebesar 7,7%.

Hasil Pengujian Marshall Standard Terhadap Perendaman Air Laut

Berdasarkan hasil pengujian Marshall terhadap campuran HRS-WC yang menggunakan limbah galian C sebagai agregat halus dan Filler, diperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 7,7%. Setelah penentuan nilai KAO, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian Marshall Standard untuk mengevaluasi karakteristik mekanis campuran pada kadar aspal optimum tersebut. Pengujian Marshall Standard pada kondisi KAO menggunakan bahan ikat aspal pen 60/70 dan telah melalui proses perendaman air laut secara dua kondisi yaitu laboratorium dan lapangan dengan variasi durasi 6, 12, 24, dan 48 jam. Rekapitulasi hasil dari pengujian dua kondisi tersebut dapat dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9 berikut ini.

Tabel 8. Hasil Pengujian Marshall Rendaman Air Laut Kondisi Laboratorium Menggunakan Agregat Halus dan Filler Limbah Galian C

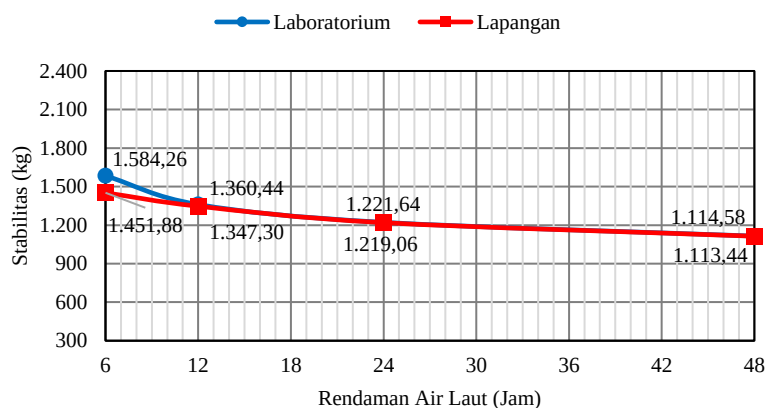
Rendaman (Jam)	VITM (%)	VMA (%)	VFWA (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	Density (gr/cc)
6	9,02	25,18	64,47	1584,26	3,40	465,96	2,14
12	9,36	25,46	64,55	1360,44	3,10	438,85	2,15
24	9,41	25,50	63,53	1221,64	2,24	470,46	2,15
48	9,57	25,64	62,67	1114,58	3,05	365,44	2,15
Spesifikasi	4-6	>18	>68	>600	2-4	>250	-

Sumber: Hasil Pengujian, 2025

Tabel 9. Hasil Pengujian Marshall Rendaman Air Laut Kondisi Lapangan Menggunakan Agregat Halus dan Filler Limbah Galian C

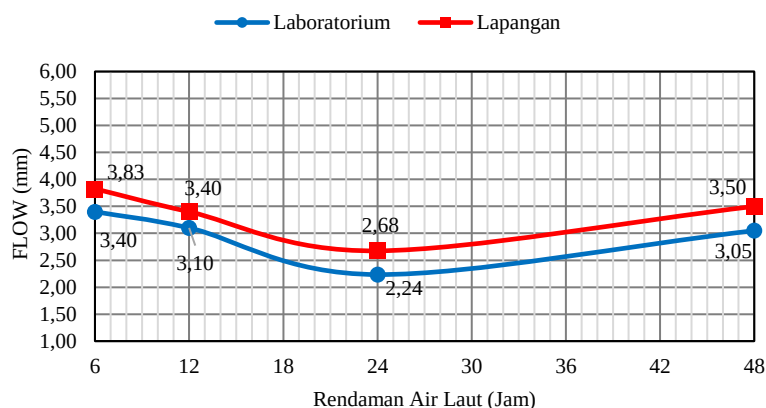
Rendaman (Jam)	VITM (%)	VMA (%)	VFWA (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	Density (gr/cc)
6	6,76	23,46	70,49	1451,88	3,83	379,58	2,22
12	7,62	24,47	68,30	1347,30	3,40	396,27	2,19
24	7,71	24,47	68,45	1219,06	2,68	455,72	2,19
48	7,89	24,16	68,13	1113,44	3,50	318,13	2,21
Spesifikasi	4-6	>18	>68	>600	2-4	>250	-

Sumber: Hasil Pengujian, 2025



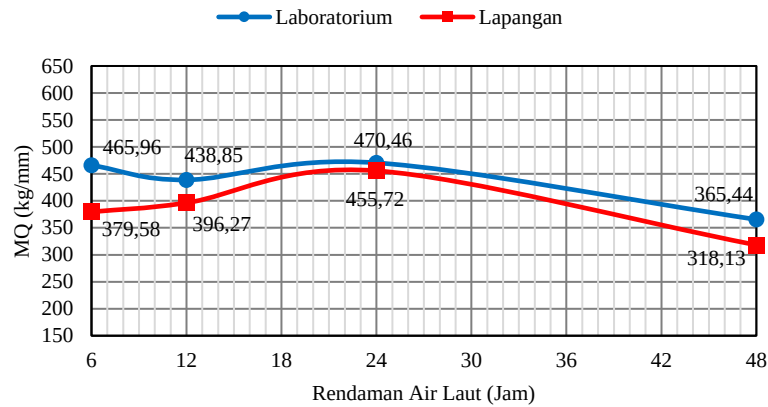
Gambar 2. Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dan Nilai Stabilitas pada Campuran *HRS-WC*
 Sumber: Hasil Pengujian, 2025

Stabilitas merupakan kemampuan lapisan perkerasan untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk permanen (deformasi). Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai stabilitas *HRS-WC* menurun seiring durasi perendaman air laut, baik di laboratorium maupun lapangan. Stabilitas laboratorium turun dari 1.584,26 kg (6 jam) menjadi 1.114,58 kg (48 jam), sedangkan lapangan dari 1.451,88 kg menjadi 1.113,44 kg, dengan pola penurunan serupa hasil penelitian sebelumnya. Penurunan stabilitas menunjukkan bahwa perendaman air laut melemahkan ikatan aspal-agregat. Nilai laboratorium sedikit tinggi karena kondisi lebih terkontrol, sedangkan di lapangan fluktuasi suhu, oksidasi, dan endapan garam mempercepat degradasi. Selain itu, penggunaan limbah galian C sebagai agregat halus dan *Filler* juga berpengaruh, karena bentuk partikel yang tidak beraturan dan permukaan yang kasar dapat mengurangi kekuatan kuncian antar agregat dan mempercepat penurunan stabilitas saat terpapar lingkungan agresif seperti air laut. Hal yang sama ditunjukkan pada penelitian Jusmidah (2018), di mana nilai stabilitas juga mengalami penurunan seiring bertambahnya durasi rendaman.



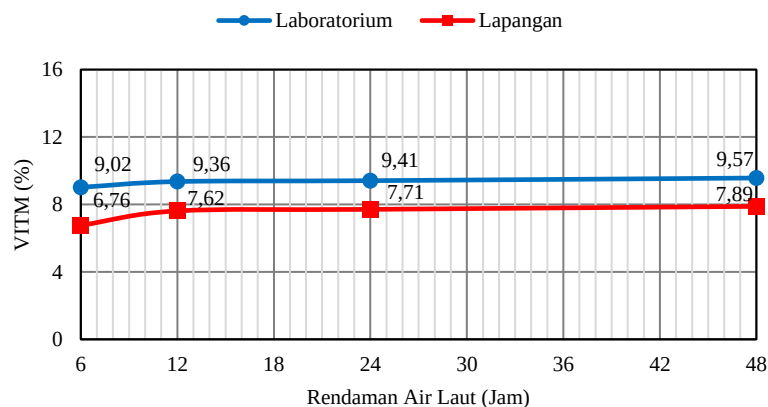
Gambar 3. Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dan Nilai *Flow* pada Campuran *HRS-WC*
 Sumber: Hasil Pengujian, 2025

Flow adalah tingkat deformasi plastis yang terjadi pada beton aspal akibat beban yang diberikan hingga mencapai titik keruntuhan (Sukirman, 2010). Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai *Flow* pada campuran *HRS-WC* mengalami penurunan pada 24 jam pertama masa perendaman, baik pada sampel laboratorium maupun lapangan. Nilai *Flow* terendah tercatat pada jam ke-24, yaitu 2,24 mm (laboratorium) dan 2,68 mm (lapangan). Setelah titik ini, nilai *Flow* kembali meningkat hingga jam ke-48, masing-masing mencapai 3,05 mm dan 3,50 mm. Penurunan awal ini mengindikasikan bahwa pada masa awal perendaman, air laut dapat memperkuat ikatan antar partikel sementara karena pengaruh pendinginan atau perubahan kelembaban, sehingga membuat campuran menjadi lebih kaku. Namun, seiring berjalannya waktu, air laut mulai meresap lebih dalam dan mengganggu ikatan antara aspal dan agregat, menyebabkan meningkatnya deformasi plastis, yang tercermin dari naiknya nilai *Flow*.



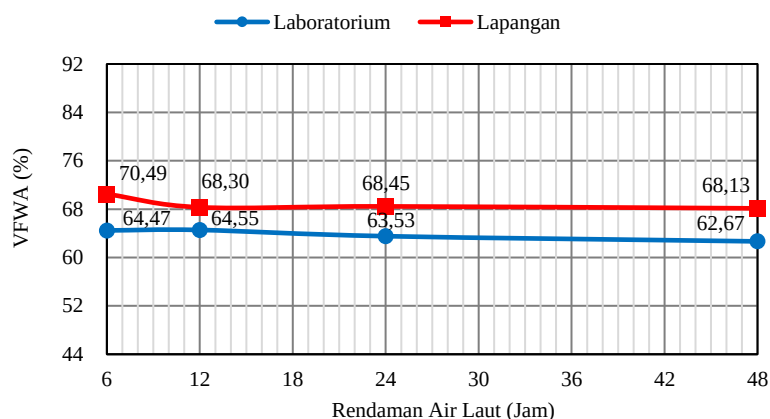
Gambar 4. Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dan Nilai MQ pada Campuran HRS-WC
Sumber: Hasil Pengujian, 2025

Marshall Quotient (MQ) adalah rasio antara nilai stabilitas terhadap nilai kelelahan (*Flow*) dalam campuran beton aspal. Parameter ini digunakan untuk menggambarkan tingkat kekakuan atau fleksibilitas campuran. Gambar 4 memperlihatkan bahwa nilai MQ pada campuran HRS-WC cenderung mengalami fluktuasi terhadap durasi perendaman air laut. Pada perendaman 6 hingga 24 jam, nilai MQ baik untuk sampel laboratorium maupun lapangan meningkat, dengan nilai tertinggi tercatat pada 24 jam, yaitu 470,46 kg/mm (laboratorium) dan 455,72 kg/mm (lapangan). Namun, setelah 24 jam, nilai MQ mulai menurun tajam hingga 48 jam perendaman, masing-masing menjadi 365,44 kg/mm (laboratorium) dan 318,13 kg/mm (lapangan). Penurunan ini menunjukkan bahwa semakin lama perendaman, semakin besar penurunan kekakuan campuran akibat degradasi ikatan antara aspal dan agregat yang disebabkan oleh penetrasi air laut.



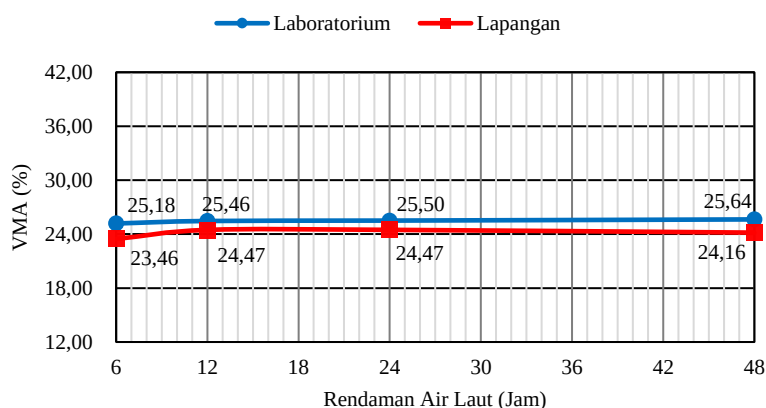
Gambar 5. Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dan Nilai VITM pada Campuran HRS-WC
Sumber: Hasil Pengujian, 2025

Void in Total Mix (VITM) merupakan persentase volume rongga udara yang terdapat dalam campuran agregat dan aspal terhadap total volume campuran. Parameter ini memiliki hubungan yang erat dengan kemampuan campuran dalam menahan deformasi plastis. Berdasarkan hasil analisis pada parameter *Void in Total Mix (VITM)* pada gambar 5, terlihat adanya pengaruh durasi perendaman air laut terhadap campuran HRS-WC dengan agregat halus limbah galian C. Pada kondisi laboratorium, VITM meningkat dari 9,02% (6 jam) menjadi 9,57% (48 jam), menunjukkan bertambahnya rongga udara akibat melemahnya ikatan aspal-agregat oleh penetrasi air laut. Sebaliknya, pada kondisi lapangan, nilai VITM meningkat hingga 7,71% pada 24 jam sebelum kembali turun menjadi 7,89% pada 48 jam. Variasi nilai VITM juga dipengaruhi karakteristik limbah galian C yang memiliki daya serap cukup tinggi, sehingga berkontribusi terhadap perubahan rongga dalam campuran.



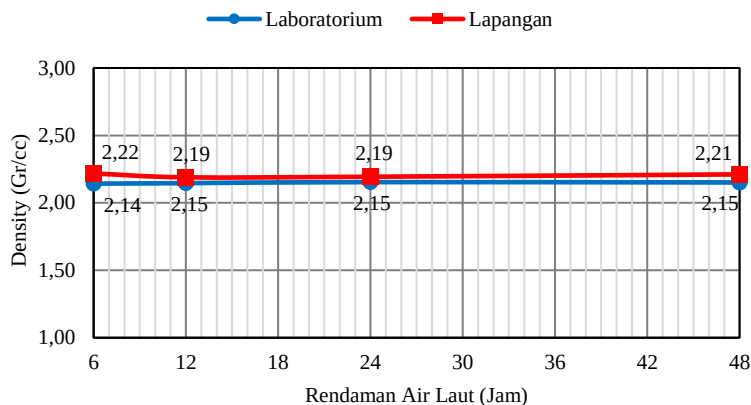
Gambar 6. Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dan Nilai VFA pada Campuran HRS-WC
Sumber: Hasil Pengujian, 2025

Void Filled with Asphalt (VFA) merupakan volume rongga dalam campuran yang terisi oleh aspal, dinyatakan sebagai persentase terhadap total volume campuran. Nilai VFA berpengaruh terhadap tingkat kekedapan campuran terhadap air dan udara, serta memengaruhi sifat elastisitasnya. Hasil pengujian *Void Filled with Asphalt (VFA)* menunjukkan adanya pengaruh durasi perendaman air laut terhadap campuran HRS-WC berbahan limbah galian C. Pada kondisi laboratorium, nilai VFA mengalami penurunan bertahap dari 64,47% (6 jam) menjadi 62,67% (48 jam), mengindikasikan berkurangnya kemampuan aspal dalam mengisi rongga akibat degradasi ikatan aspal-agregat oleh paparan air laut. Pada perendaman lapangan, tren serupa juga terjadi dengan penurunan dari 70,49% menjadi 68,13%, meskipun nilai awal lebih tinggi karena pemadatan dan distribusi aspal lebih baik. Faktor lain yang memengaruhi adalah karakteristik limbah galian C, di mana permukaan agregat yang kasar dan bentuk partikel tidak ideal cenderung menurunkan efektivitas penyalutan oleh aspal.



Gambar 7. Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dan Nilai VMA pada Campuran HRS-WC
Sumber : Hasil Pengujian, 2025

Void in Mineral Aggregate (VMA) merupakan volume rongga udara yang berada di antara butiran agregat dalam campuran aspal yang telah dipadatkan, dinyatakan dalam bentuk persentase terhadap total volume campuran. Pada gambar 7 menunjukkan bahwa pada kondisi laboratorium, nilai VMA meningkat tipis dari 25,18% menjadi 25,64%, sedangkan pada perendaman lapangan nilai berfluktuasi di kisaran 23,46%–24,47%. meskipun skalanya relatif kecil. Karakteristik limbah galian C yang digunakan sebagai agregat halus dan *Filler* turut menjaga kestabilan volume rongga, meskipun bentuk butiran dan tekstur permukaannya membatasi potensi pemadatan maksimal. Dengan demikian, campuran HRS-WC yang menggunakan limbah galian C tetap mampu mempertahankan kestabilan volumetrik meski terpapar rendaman air laut.



Gambar 8. Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dan Nilai
Sumber: Hasil Pengujian, 2025

Nilai kepadatan menunjukkan seberapa rapat campuran beton aspal terbentuk antara agregat dan aspal, yang dinyatakan dalam satuan gram per sentimeter kubik (gr/cc). Hasil pengujian kepadatan menunjukkan bahwa nilai *Density* pada campuran HRS-WC relatif stabil selama durasi perendaman 6 hingga 48 jam. Pada kondisi laboratorium, dencity sedikit menurun dari 2,22 gr/cc menjadi 2,21 gr/cc, sedangkan pada perendaman lapangan berada pada kisaran 2,14 hingga 2,15 gr/cc. Fluktuasi yang sangat kecil ini menandakan bahwa rendaman air laut tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap densitas campuran dalam periode pengamatan. Perbedaan nilai antara kondisi laboratorium dan lapangan pada penelitian ini lebih dipengaruhi oleh faktor lingkungan perendaman, bukan oleh proses pencampuran maupun pemadatan, karena seluruh benda uji diproduksi melalui prosedur yang sama di laboratorium.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian *Marshall Standard*, penggunaan limbah galian C sebagai agregat halus dan *Filler* pada campuran HRS-WC berpengaruh terhadap seluruh parameter *Marshall*, yaitu *VITM*, *VMA*, *VFWA*, stabilitas, *Flow*, *Density*, dan *Marshall Quotient*. Secara umum, kinerja campuran sedikit lebih rendah dibanding agregat standar, dengan *VITM* dan *Marshall Quotient* pada beberapa kadar aspal tidak memenuhi Spesifikasi Bina Marga (2018). Meskipun demikian, nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 7,7% tetap diperoleh, dan sebagian besar parameter masih berada dalam batas spesifikasi teknis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perendaman air laut selama 6 hingga 48 jam, baik di laboratorium maupun di lapangan, menyebabkan perubahan pada seluruh parameter *Marshall*, dengan kecenderungan penurunan pada *VITM*, stabilitas, dan *MQ*, serta fluktuasi pada *VFWA*, *VMA*, *Flow*, dan *Density*. Sebagian besar parameter masih memenuhi Spesifikasi Bina Marga (2018), namun paparan air laut terbukti menurunkan kinerja mekanis campuran HRS-WC berbahan limbah galian C, dengan Perbedaan hasil antara kondisi laboratorium dan lapangan dapat disebabkan oleh faktor lingkungan alami seperti suhu, kelembaban, tingkat salinitas, angin, serta paparan sinar matahari langsung di lokasi pesisir, yang memengaruhi proses penetrasi air laut ke dalam pori-pori campuran.

REFERENSI

- Fajar, M. N., Saputra, A., Purwantoro, D. S., Iqbal, I., & Arifin, H. (2024). Pengaruh Kadar Lumpur Terhadap Nilai Kuat Tekan Paving Block Dengan Bahan Dasar Sedimentasi Limbah Galian C Di Sungai Klagison, Kota Sorong. *Teknika*, 19(1), 103–109. <https://doi.org/10.26623/Teknika.V19i1.8773>
- Iqbal, I., & Fauziah, M. (2023). Experimental study of the use of waste rubber tire additives using the sequential mixing method on the performance of Hot-Rolled Sheet-Wearing Course mixtures. *TEKNIK*, 44(2), 167-175.
- Iqbal, I., Sukowati, D. G., Rusmin, M., Desembardi, F., & Sasim, K. P. (2024). Pengaruh Penggunaan Limbah Plastik LDPE Terhadap Karakteristik Laston AC-WC Dengan Metode *Marshall*: The Influence of LDPE Plastic Waste Utilization on the Characteristics of AC-WC Mixture Using the Marshall Method. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 6(2), 216-221.
- Jenderal, D., Marga, B., Pekerjaan, U., Jalan, K., & Jembatan, D. (2018). *Spesifikasi Umum 2018*.
- Jusmidah. (2018). *Pengaruh Waktu Perendaman Air Laut Terhadap Mutu Perkerasan Hot Rolled Sheet A (Hrs A)*. 185–196.

- Rahmat, Devi, S. M., & Raesandi, W. (2021). Analisis Perendaman Aspal Ac-Wc Di Air Tawar Dan Air Laut Terhadap Karakteristik *Marshall* Dengan Memanfaatkan Material Lokal Rintik Kabupaten Paser. *Jurnal Transukma*, 3(2).
- Rahmatullah, A., Budianto, A., & Abubakar, E. (2024). Kajian Dampak Lingkungan Sosial Dan Ekonomi Akibat Kegiatan Penambangan Bahan Galian Golongan C Di Daerah Kawasan Pesisir Saoka Sorong Barat. *Jurnal Kesehatan Dan Pengelolaan Lingkungan*, 5(1), 13–23. <https://doi.org/10.12928/Jkpl.V5i1.9723>
- Sabarno, A., & Farida, I. (2022). Karakteristik Aspal (*HRS-WC*) Dalam Kondisi Terendam Air Laut Dengan Variasi Waktu Rendaman Berdasarkan Uji *Marshall*. *Hexagon Jurnal Teknik Dan Sains Fakultas Teknologi Lingkungan Dan Mineral Universitas Teknologi Sumbawa*, 3(1), 1–9.
- Sukirman, S. (2010). *Tentang Penulis*. Nova Bandung.
- Sukron, M., Oka, I. A., Sideman, S., Made, D., & Karyawan, A. (2023). *Perbandingan Lama Perendaman Campuran Aspal (Ac-Wc) Dengan Memakai Air Hujan Dan Air Laut Terhadap Karakteristik Marshall Menggunakan Material Lokal Pringgabaya*.