

STABILITAS MARSHALL CAMPURAN ASPAL EMULSI DINGIN (CAED) YANG TERENDAM AIR LAUT DAN AIR TAWAR

I Nyoman Arya Thanaya^{1*}, I Gusti Raka Purbanto¹, I Gusti Sayu Winda Surini²

¹*Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Udayana, Jl. Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali
e-mail: aryathanaya@unud.ac.id

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Udayana, Jl. Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali
e-mail: rakapurbanto@gmail.com

² Alumni Program Studi Sarjana Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Udayana, Jl. Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali
e-mail: winda.sayu01@gmail.com

ABSTRAK

Jalan bisa terendam air dalam waktu tertentu yang dapat mempercepat kerusakan. Penelitian ini menggunakan air laut dan air tawar sebagai perendam benda uji aspal jenis Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED). Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh perendaman air laut dan air tawar terhadap Stabilitas Marshall dari CAED. Penelitian ini menggunakan CAED bergradasi CEBR tipe IV dan aspal emulsi CSS-1h. Kadar air optimum yang digunakan 4%, pemasatan 2x(2x75) dan KARO 7,5%. Benda uji dikondisikan *full curing*. Benda uji disiapkan tanpa dan dengan direndam air laut dan air tawar dengan variasi waktu 24 jam, 48 jam dan 72 jam. Selanjutnya dilakukan pengujian Marshall, ITS dan Cantabro. Diperoleh hasil nilai Stabilitas Marshall tanpa perendaman sebesar 1842 kg, pada perendaman diperoleh masing-masing 1737kg, 1462 kg, 1406 kg pada air laut, 1763 kg, 1654 kg, 1530 kg untuk air tawar. Nilai Cantabro tanpa perendaman 0,742%, dengan perendaman diperoleh 1,931%, 3,139%, 5,193% pada air laut 1,107%, 2,280%, 3,412% pada air tawar. Nilai ITS tanpa perendaman 313,35 kPa, dengan perendaman diperoleh 251,78 kPa, 221,79 kPa, 193,67 kPa pada air laut, dan 254,95 kPa, 240, 27 kPa, 232,41 kPa pada air tawar. Perendaman di air laut lebih mengurangi stabilitas daripada di air tawar.

Kata kunci: Campuran Aspal Emulsi Dingin, Stabilitas, Air Laut, Air Tawar

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki permasalahan kerusakan jalan yang sering diakibatkan oleh genangan air laut dapat menghabat laju transportasi. Salah satu contoh kasus tersebut adalah terjadinya banjir rob di Pantai Lebih, Giayar saat malam hari menyebabkan Jalan Bypass Ida Bagus Mantra terendam air laut yang meluber dari pantai hingga ke jalan. Selain merendam kawasan pantai dan jalan, air laut juga membawa banyak sampah yang berserakan (Kusumaningrat, 2022). Kerusakan akses jalan di Indonesia juga rawan terjadi karena terendam air saat musim penghujan. Salah satu contoh kasus tersebut ialah hujan deras di daerah Tanggerang menyebabkan banjir yang menggenang sejumlah ruas jalan dan membuat tanggul Jebol yang mengakibatkan air meluap ke pemukiman warga (Selviany , 2023). Kerusakan akses jalan yang disebabkan oleh genangan air di badan jalan yang berupa terlepasnya butiran-butiran perkerasan yang dapat menyebabkan berlubangnya perkerasan jalan dan umur jalan yang singkat karena penurunan kinerja jalan.

Penelitian pengaruh air laut dan air tawar terhadap perkerasan aspal sudah diteliti sebelumnya oleh Mauya (2015), dengan campuran lapis beton AC-WC penetrasi 60/70, nilai stabilitas turun 6,597% setelah 24 jam perendaman air garam dibandingkan dengan perendaman air tawar, pada durasi 48 jam mencapai 29,900%. Foeh (2020), melakukan pengujian durabilitas aspal panas dengan gradasi campuran AC-WC, aspal penetrasi 60/70 dengan hasil nilai karakteristik Marshall pada kadar aspal optimum 6,75% nilai stabilitas 2461,73 Kg. Benda uji yang tidak terendam memiliki nilai stabilitas 93,52%, setelah terendam air tawar dalam waktu 24 jam nilai stabilitas menurun menjadi 89,23%, dan untuk air laut nilai stabilitasnya 87,5%. Pada pengujian Cantabro dan Indirect Tensile Strength (ITS) juga menunjukkan hasil sama yaitu perendaman pada air laut lebih merusak dibandingkan dengan air tawar.

Penelitian ini menggunakan jenis Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) tipe *Cationic Slow Setting* (CSS-1h) dengan gradasi campuran tipe IV. Kelebihan CAED adalah cocok digunakan pada daerah yang beriklim tropis seperti Indonesia. Pengrajan pemasatan CAED disarankan dilakukan pada musim kemarau karena kondisi cuaca yang panas dan mempercepat proses *curing*. Untuk mencapai porositas, memerlukan energi pemasatan yang lebih besar karena aspal residu campuran semakin kaku saat dipadatkan pada suhu ruang, oleh karena itu CAED membutuhkan tingkat pemasatan yang lebih tinggi dari campuran aspal panas (Thanaya dalam Wikarga, 2017). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh lama perendaman dalam air laut dan air tawar selama 24, 48, dan 72 jam terhadap Stabilitas Marshall Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) pada Kadar Aspal Optimum (KARO), serta mengevaluasi pengaruh jenis air tersebut terhadap uji Cantabro dan *Indirect Tensile Strength* CAED pada KARO sebelum dan sesudah lama perendaman yang ditentukan.

2. MATERIAL DAN METODE PENELITIAN

Material yang digunakan dalam penelitian ini berupa Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) dengan aspal emulsi tipe CSS-1h dari PT. Aspal Polimer Emulsindo (APE), dan agregat yang digunakan berasal dari PT. Merak Jaya Beton, Sesetan, Bali. Air laut yang digunakan diperoleh dari Pantai Muaya, Jimbaran dan air tawar diperoleh dari Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan Universitas Udayana. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan menggunakan alat Marshall, Mesin Los Angeles untuk Cantabro dan alat ITS untuk mendapat nilai benda uji tanpa perendaman dan melalui perendaman dengan variasi waktu 24 jam, 48 jam dan 72 jam.

Pemeriksaan agregat dan aspal emulsi

Penilaian menyeluruh meliputi analisis saringan untuk agregat halus dan kasar, berat jenis dan penyerapan air untuk agregat kasar dan halus, berat jenis bahan pengisi, ketahanan agregat terhadap abrasi menggunakan alat abrasi Los Angeles, evaluasi gumpalan tanah liat dan partikel gembur dalam agregat, daya rekat agregat terhadap aspal, dan analisis kandungan rongga dalam agregat halus yang belum dipadatkan. Dilakukan juga pemeriksaan aspal emulsi tipe CSS-1h untuk mendapat kadar aspal residu dan berat jenis aspal emulsi.

Teknik pengambilan air laut

Air laut diperoleh dari Pantai Muaya, Jimbram, Kec. Kuta Selatan. Pengambilan air laut menggunakan 3 jerigen besar ukuran 5 liter, disimpan dalam suhu ruang dalam kondisi tertutup. Saat proses perendaman air laut dikocok terlebih dahulu agar unsur-unsur dalam air laut homogen.

Penentuan proporsi agregat

Penelitian CAED ini menggunakann CEBR tipe IV yang merupakan gradasi yang cocok untuk pekerjaan lapis permukaan, dimana ukuran agregat terbesar tidak terlalu besar, jenis ini dipilih untuk lalu lintas rendah hingga sedang dan perbaikan jalan skala kecil. Berdasarkan beratnya, campuran ini mengandung 42,5% agregat kasar (tertahan saringan 4,75 mm), 52% agregat halus (tertahan saringan 0,075 mm), dan 5,5% bahan pengisi.

Test penyelimitan (*Coating test*)

Test Penyelimitan (*Coating Test*) menentukan kadar air optimal. Kadar air optimal mengurangi viskositas emulsi aspal dan meningkatkan penyelimitan permukaan agregat. Campuran yang baik tidak terlalu lembek maupun terlalu kaku. (Thanaya dan Wibawa, 2019). Pelembaban air terhadap agregat divariasi untuk mendapatkan tingkat penyelimitan yang baik, dimana campuran tidak kaku dan tidak lembek.

Perhitungan kadar aspal awal

Persamaan tersebut menghitung konsentrasi aspal awal campuran dari agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (Asphalt Institute, MS-14, 1989):

$$P = (0,05a + 0,1b + 0,5c) \times (0,7) \quad (1)$$

dimana: P = % Kadar aspal residu awal; a = % Agregat Kasar = 42,5%; b = % Agregat Halus = 52%

$$c = \% \text{ filler} = 5,5\%$$

Kemudian diestimasikan Kadar Aspal Emulsi (KAE) awal:

$$\text{KAE awal} = (P/X)\% \quad (2)$$

Dimana: P = % Kadar aspal residu awal; X = % Kadar residu dari aspal emulsi

Variasi presentase kadar aspal yang digunakan, diasumsikan 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, dan 8% terhadap berat total campuran.

Pembuatan benda uji campuran aspal emulsi dingin (CAED)

Konsep dan prosedur yang ditetapkan memandu pembuatan spesimen uji Asphalt Institute (1979), MPW-RI (1990), Dep. PU (1991), dan RSNI M-01-2003. Kadar Aspal yang digunakan adalah Kadar Aspal Residu Optimum (KARO). Diperlukan 1 buah benda uji dengan berat 1000 gram untuk setiap perlakuan dalam pengujian, benda uji dipadatkan dengan energi pemadatan $2 \times (2 \times 75)$, kemudian dikeluarkan dari cetakan dan dioven pada suhu 40°C selama 24 jam, untuk uji Stabilitas kering. Untuk uji stabilitas rendaman, sampel direndam setengah tebalnya selama masing-masing 24 jam (*capillary soaking*), untuk menentukan kadar aspal residu optimum (Thanaya dan Wibawa, 2019). Untuk uji stabilitas dengan perendaman, sampel dikondisikan *full curing* (kadar air sudah menguap, dengan mengoven sampel pada suhu 40°C sampai beratnya konstan) kemudian direndam dengan variasi waktu yaitu 24 jam, 48 jam, dan 72 jam.

Pengujian campuran aspal emulsi dingin dengan metode Modifikasi Marshall

Uji ini mengevaluasi stabilitas campuran aspal. Benda uji dalam kondisi full curing selanjutnya akan direndam dalam air laut dan air tawar. Setelah direndam benda uji dikeluarkan dari perendaman dan di kondisikan *saturated surface dry* (SSD), pengujian modifikasi marshall dilakukan pada benda uji dalam suhu ruang (Asphalt Institute,

MS-14, 1989).

Penentuan stabilitas sisa

Penentuan stabilitas sisa dalam pengujian ini dilakukan dengan membandingkan hasil dari stabilitas rendaman (*soaked stability*) untuk benda uji yang melalui proses *capillary soaking* dengan hasil dari stabilitas kering (*dry stability*). Penentuan stabilitas sisa dilakukan pada kadar aspal residu optimum (KARO). Persyaratan minimum stabilitas yang disarankan adalah 50%. Proses *capillary soaking* dapat dilihat pada Gambar 2.

Pengujian Cantabro

Pengujian Cantabro mengevaluasi disintegrasi campuran, terutama pemisahan partikel agregat karena tekanan gesekan berulang. Nilai CAL spesifikasi yang direkomendasikan maksimal CAL 16% (Hamzah et al., 2010). Kehilangan berat dapat dihitung menggunakan persamaan 2:

$$CAL = \left(\frac{Mo - Mi}{Mo} \right) \times 100\% \quad (3)$$

Dimana:

CAL = Nilai Cantabro/CAL (%); Mo = Berat benda uji semula (gram); Mi = Berat benda uji setelah dirotasi 300 putaran (gram).

Pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS)

Kekuatan tarik diukur berdasarkan ketahanan uji ITS terhadap gaya eksternal yang memaksa komponen-komponen benda uji terpisah. Uji ITS mengevaluasi karakteristik tarik campuran aspal secara tidak langsung. Untuk kekuatan tarik tidak langsung, gunakan persamaan (Suparma, 2001):

$$ITS = \frac{2 \times Pi}{\pi \times D \times h} \quad (4)$$

Dimana: ITS = Nilai kuat tarik secara tidak langsung (kg/m^2); Pi = Nilai beban (kg); H = Tinggi benda uji (m); D = Diameter benda uji (m).

Perbandingan benda uji yang direndam air laut dan air tawar

Dibagian ini, selain penelitian Marshall, dilakukan juga penelitian perbandingan terhadap benda uji yaitu penelitian kinerja *Cantabro*, serta penelitian *Indirect Tensile Strength* (ITS). Jenis aspal yang diteliti pada penelitian ini adalah campuran I aspal emulsi dingin yang direndam pada air laut dan dibandingkan dengan campuran II yang sama dengan perendam pada air tawar.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan agregat dan aspal emulsi

Karakteristik agregat dan emulsi aspal untuk campuran emulsi aspal dingin diperiksa. Agregat yang diuji berupa agregat kasar, agregat halus dan *filler* (abu batu) yang didapat dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) yang diperoleh dari PT. Merak Jaya Beton, Sesetan, Bali. Aspal emulsi yang diuji adalah CSS-1h dari PT. Aspal Polimer Emulsindo. Hasil inspeksi gabungan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi pemeriksaan agregat dan aspal emulsi

No.	Jenis Pemeriksaan	Jenis Agregat			Spesifikasi Umum 2020
		Kasar	Halus	Filler	
a	b	c	d	e	
1	Berat jenis bulk	2,788	2,263	1,546	-
2	Berat jenis SSD	2,857	2,295	-	-
3	Berat jenis semu	2,996	2,34	-	-
4	Penyerapan air	2,48	1,433	-	3%
5	Angularitas	100	46,37	-	Min 95% (Kasar) Min 45% (Halus)
6	Kadar lempung	0,469	-	-	Maks 1%
7	Keawetan (<i>Soundness Test</i>)	0,22	-	-	Maks 12%
8	Keausan (Abrasi)	38,714	-	-	Maks 40%
9	Nilai setara pasir (<i>Sand Equivalent</i>)	-	70,72	-	Min 50%
10	Kadar residu aspal emulsi CSS-1h		57		Min 57%
11	Berat jenis residu aspal emulsi		1,008		-

Dari Tabel 1 dapat disimpulkan bahwa hasil pemeriksaan agregat kasar, agregat halus dan *filler* jenis abu batu yang diperoleh dari PT. Merak Jaya Beton, Sesetan, Bali memenuhi spesifikasi yang ditentukan sehingga layak digunakan untuk spesimen. PT. Aspal Polimer Emulsindo memasok aspal emulsi untuk penelitian ini. Pemeriksaan aspal emulsi tidak dilakukan lagi dikarenakan aspal yang digunakan masih baru dengan hasil data teknis dari aspal emulsi CSS-1h untuk kadar residu aspal emulsi sebesar 57%. Hasil pemeriksaan berat jenis residu dari aspal emulsi dapat dilihat pada Tabel 1 juga.

Tes penyelimutan (*coating test*)

Tes Penyelimutan menggunakan 500 gram agregat kering dengan proporsi gradasi yang berbeda. Agregat tersebut kemudian dilembabkan dengan kadar air yang divariasi. Jumlah aspal emulsi yang dibutuhkan untuk kadar residu 7% dan variasi kadar air yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

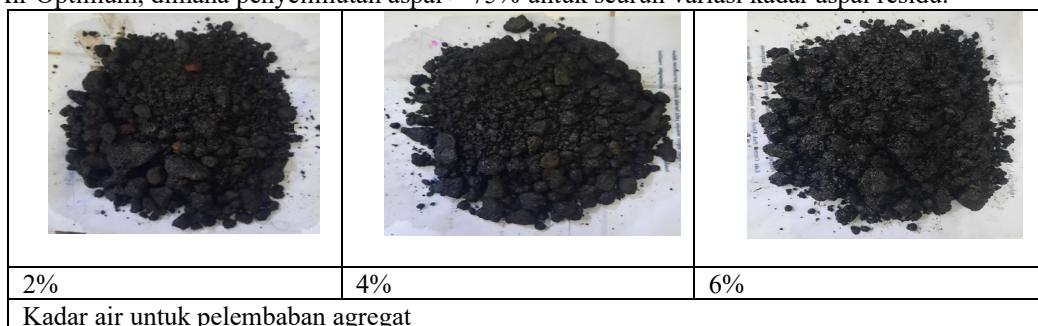
Tabel 2 Jumlah aspal emulsi yang diperlukan

Jenis aspal emulsi	Kadar aspal residu (P %)	Emulsi yang diperlukan (untuk Agregat Kering)		
		(%)	Untuk 500 gram agregat	Untuk 1000 gram Agregat
a	$b = (0,05a + 0,1b + 0,5c) \times (0,7)$	$c = b/X$	$d=500*c$	$e=1000*c$
CSS-1h	7	12,28	61,4	122,8

Tabel 3. Variasi kadar air

Kadar Air (%)	Untuk 500 gram Agregat (gram)	Untuk 1000 gram Agregat (gram)
1	5,0	10,0
2	10,0	20,0
3	15,0	30,0
4	20,0	40,0
5	25,0	50,0
6	30,0	60,0

Kadar air ideal dalam pengujian ini adalah variasi terendah yang secara nyata menunjukkan daya tutup terbaik, di mana kombinasinya tidak terlalu cair maupun kaku. Gambar 5 menunjukkan bahwa kadar air 4% merupakan Kadar Air Optimum, dimana penyelimutan aspal > 75% untuk seuruh variasi kadar aspal residu.



Gambar 1. *Coating Test*, dengan Kadar Air Optimum 4%

Kadar Aspal Residu Optimum (KARO)

Pada Tabel 4 disajikan kinerja campuran pada variasi kadar aspal residu. Untuk nilai Flow, VMA dan VFB pada CAED tidak ditentukan dalam spesifikasi.

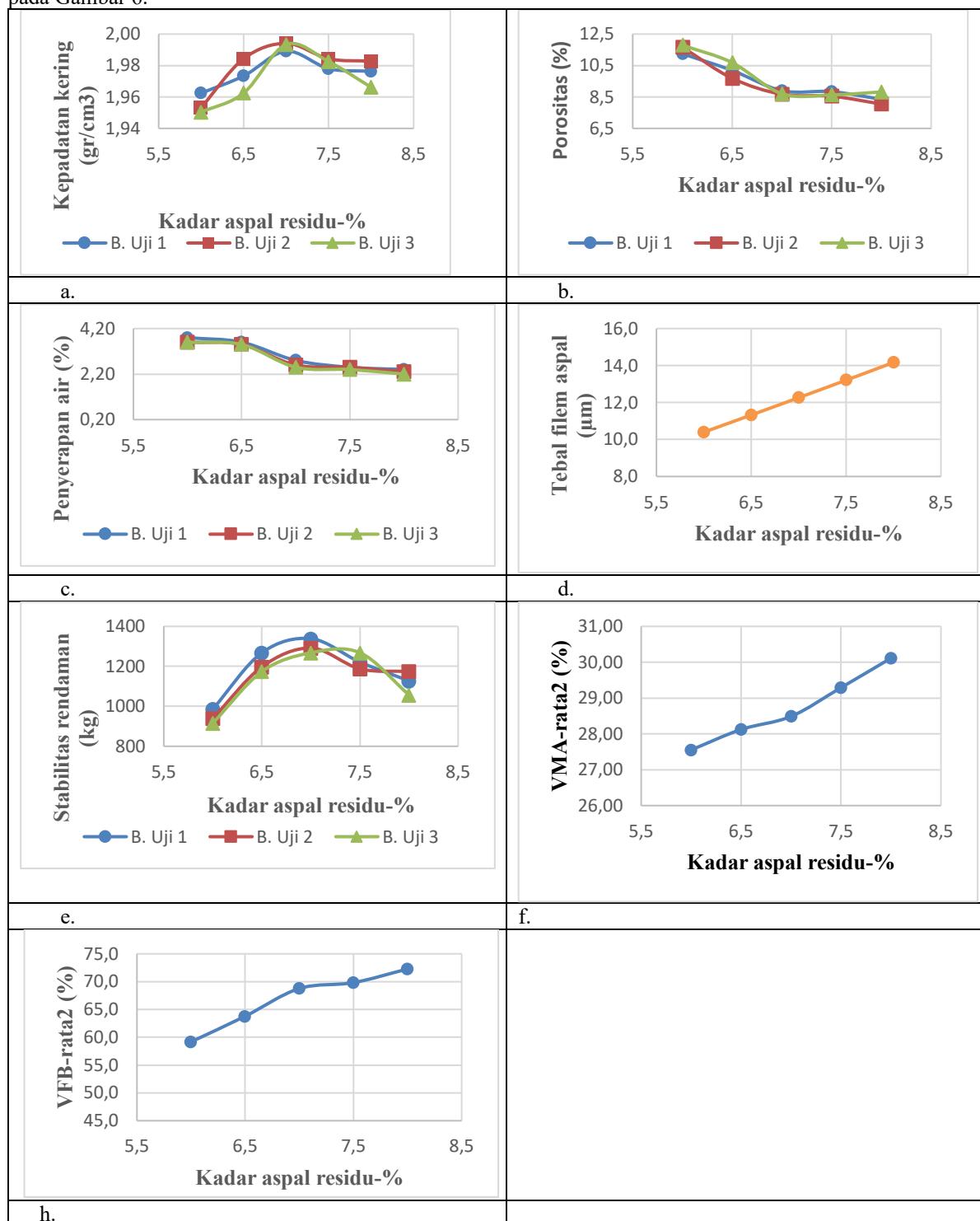
Tabel 4. Data kinerja campuran

Karakteristik Marshall	Variasi Kadar Aspal					Spec
	6%	6,5%	7%	7,5%	8%	
Stabilitas rendaman (kg)	947,01	1213,12	1299,21	1225,40	1119,20	Min 300
Porositas (%)	11,568	10,186	8,758	8,674	8,407	Maks 5-10
Penyerapan air (%)	0,710	0,565	0,490	0,414	0,339	Maks 4
Tebal filem aspal (μm)	10,4	11,3	12,3	13,2	14,2	Min 8

Tabel 4 menunjukkan bahwa stabilitas perendaman, penyerapan air, dan ketebalan lapisan aspal memenuhi

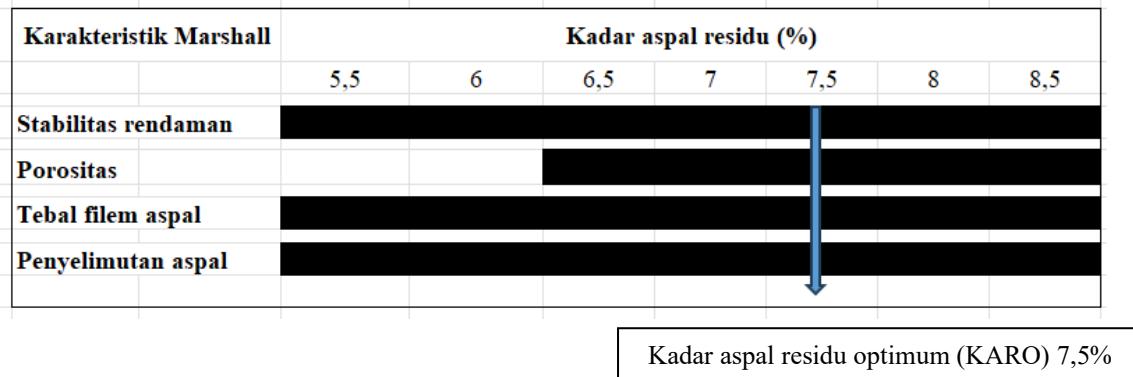
standar untuk semua kadar aspal. Nilai porositas untuk aspal 6% dan 6,5% tidak memenuhi kriteria. Konsentrasi aspal minimum adalah 7% dan tertinggi adalah 8%.

Grafik hubungan antara Kadar Aspal Residu dengan Karakteristik CAED untuk tipe aspal CSS-1h dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 2. Grafik Hubungan Kadar Aspal Residu dengan Karakteristik CAED untuk tipe CSS-1h

Untuk menentukan kadar aspal residu optimum, dilakukan dengan membuat barchart seperti pada Gambar 7. Diperoleh kadar aspal residu optimum (KARO) 7,5%.



Gambar 7. Penentuan Kadar Aspal Residu Optimum (KARO)

Stabilitas sisa pada kadar aspal residu optimum (KARO)

Stabilitas Sisa adalah perbandingan antara stabilitas rendaman (*soaked stability*) dengan stabilitas kering (*dry stability*) dengan kadar residu optimum yaitu 7,5%. Stabilitas rendaman didapatkan dari benda uji yang direndam dengan metode *capillary soaking* selama 48 jam. Dari pengujian stabilitas sisa yang dilakukan pada KARO didapatkan hasil yang melebihi spesifikasi 50%. Hasil uji stabilitas sisa ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil stabilitas sisa pada KARO

No. Sampel	Kadar Aspal (%)	Nilai Stabilitas (kg)		Stabilitas Sisa (%)	Spesifikasi
		S. Kering	S. Rendaman		
a	b	d	e	f	
1	7,5	1322	1221	92,37	
2	7,5	1299	1187	91,38	
3	7,5	1367	1268	92,78	Min 50%
Rata-rata				92,18	

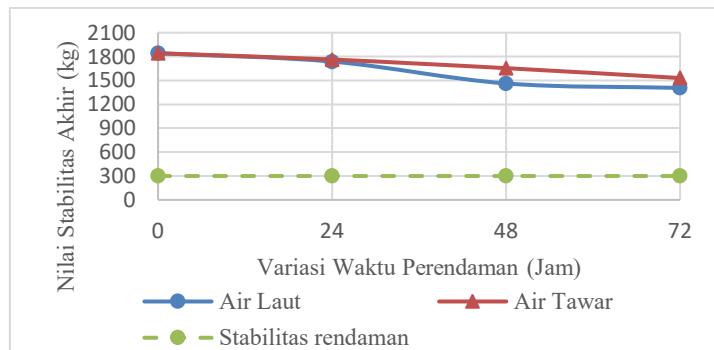
Analisis Stabilitas CAED tipe CSS-1h pada kadar aspal residu optimum setelah direndam

Sampel untuk uji ini dikondisikan pada kondisi *full curing*, yaitu kondisi dimana semua kadar air pada sampel sudah menguap. Hal ini dicapai dengan mengoven sampel pada suhu 40°C sampai beratnya konstan. Hasil pengujian stabilitas dengan perendaman disajikan pada Tabel 6 dan Gambar 8.

Tabel 6 Hasil Pengujian Stabilitas

No. Sampel	Kadar Aspal (%)	Durasi Perendaman (jam)	Nilai Stabilitas Akhir (kg)	
			Air Laut	Air Tawar
a	b	c	d	e
1	7,5	0	1842	1842
2	7,5	24	1737	1763
3	7,5	48	1462	1654
4	7,5	72	1406	1530

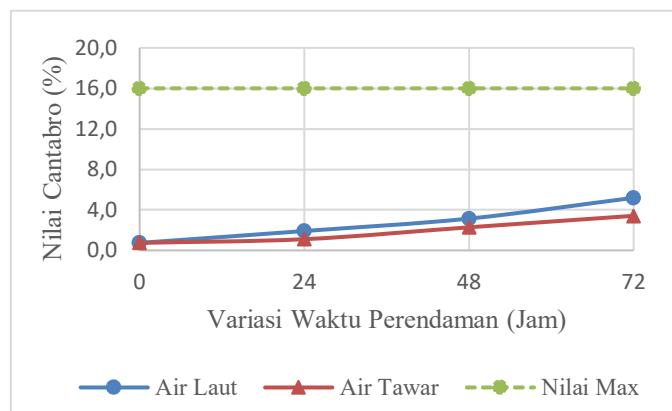
Dari hasil pengujian stabilitas, dengan melakukan perendaman air laut dan air tawar dalam variasi waktu yang berbeda, menunjukkan stabilitas yang diperoleh semakin menurun terutama untuk benda uji yang direndam air laut, akan tetapi benda uji yang direndam selama 72 jam masih memberikan hasil yang tinggi dari spesifikasi stabilitas rendaman yaitu minimum 300 kg, hanya mengalami penurunan sekitar 11 % dari kondisi tanpa rendaman. Hasil pengujian stabilitas yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Nilai Stabilitas Benda Uji KARO Kondisi *Full Curing*

Karakteristik CAED tipe CSS-1h pada kadar aspal residu optimum setelah direndam dengan Uji Cantabro

Nilai akhir CAL untuk benda uji yang direndam maupun yang tidak melalui proses perendaman menggunakan spesifikasi yang direkomendasikan maksimal CAL 16% (Hamzah et al., 2010). Hasil pengujian stabilitas dapat dilihat pada dari hasil uji cantabro didapatkan hasil semakin lama mengalami perendaman, maka semakin besar benda uji kehilangan berat. Spesimen uji yang direndam dalam air laut kehilangan bobot lebih banyak daripada spesimen uji yang direndam dalam air tawar. Hasil uji Cantabro ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Nilai Cantabro Benda Uji KARO Kondisi *Full Curing*

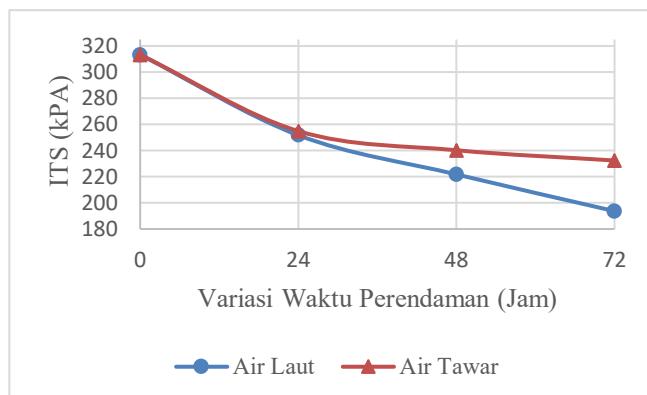
Karakteristik CAED tipe CSS-1h pada kadar aspal residu optimum setelah direndam dengan uji *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Pengujian ITS dilakukan untuk mendapatkan nilai kuat tarik tidak langsung dari campuran perkerasan. Berikut hasil pengujian ITS pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil pengujian ITS

No. Sampel	Kadar Aspal %	Durasi Perendaman Jam	ITS (kPa)	
			Air Laut d	Air Tawar e
a	b	c	d	e
1	7,5	0	313,35	313,35
2	7,5	24	251,78	254,95
3	7,5	48	221,79	240,27
4	7,5	72	193,67	232,41

Kekuatan ITS menurun seiring perendaman yang lama, dengan perendaman di air laut mengurangi kekuatan lebih besar daripada perendaman di air tawar. Gambar 10 menunjukkan bahwa daya rekat aspal menurun seiring lamanya perendaman karena jenis air dan lama perendaman.



Gambar 10. Nilai ITS Benda Uji KARO Kondisi *Full Curing*

4. SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Nilai Karakteristik Marshall Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) pada Kadar Aspal Residu ptimum (KARO) 7,5% diperoleh Nilai Stabilitas Rendaman (*Soaked Stability*) 1225,40 kg, Porositas (*Porosity*) 8,674%, Penyerapan Air (*Water Absorption*) 0,44% dan Tebal Film Aspal (*Bitumen Film Thickness*) diperoleh nilai 13,2 μm . Nilai Stabilitas Sisa dari KARO yaitu 92,18% yang memenuhi Spesifikasi Khusus Dep. PU 1991.
- Pengaruh air laut dan air tawar terhadap Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) pada KARO pada pengujian Stabilitas Marshall, Cantabro dan ITS menunjukkan perendaman dalam air laut lebih menurunkan stabilitas daripada perendaman dalam air tawar, namun demikian nilai stabilitasnya masih jauh diatas minimal 300 kg, dengan penurunan sekitar 11 % dari kondisi tanpa rendaman.

Saran

Berdasarkan penelitian, beberapa saran dapat diberikan:

- Penelitian lebih lanjut diperlukan dengan perendaman pada kadar air garam yang bervariasi, untuk mensimulasi air banjir rob yang bercampur air muara sungai.
- Perlu penggunaan tipe campuran material perkerasan yang berbeda agar dapat mengetahui tipe campuran yang lebih efektif dalam pengaplikasiannya untuk perkerasan jalan.
- Variasi waktu perendaman yang digunakan bisa lebih dari 72 jam, agar dapat mengetahui batas rendaman perkerasan, karena pada penelitian ini hasil pengujian masih memenuhi spesifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Asphalt Institute. (1979). *A Basic Asphalt Emulsion Manual*. Manual Series No.19 (MS-19), Second Edition, Maryland, USA.
- Asphalt Institute .(1989). *Asphalt Cold Mix Manual*. Manual Series No. 14 (MS – 14), Third Edition, USA.
- Departemen PU, B.M. (1991). *Spesifikasi Khusus*. Suplemen 3, Jakarta.
- Foeh. (2020). Kajian Durabilitas Campuran Perkerasan Aspal yang Terendam Air Laut dan Air Tawar. *Tugas Akhir*. Universitas Udayana, Bali.
- Hamzah, et al. (2010). “Comparative study on performance of malaysian porous asphalt mixes incorporating conventional and modified binders”. *JApSc*, 10(20), 2403-2410.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2020). *Spesifikasi Umum Bina Marga untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan 2018* (Revisi 2) (No. 16.1/SE/Db/2020).
- Kusumaningrat, K. C. (2022). “Banjir Rob di Bali, Air Laut Rendam Area Pantai hingga Meluber ke Jalan”. Bali.Inews.Id.
- Minitery of Public Works (MPW)-RI. (1990). *Paving Specifications Utilizing Bitumen Emulsions*. Jakarta, Indonesia.
- Muaya, S. G., Kaseke, O. H., & Manoppo, M. R. E. (2015). “Pengaruh Tetendamnya Perkerasan Aspal Oleh Air Laut yang Ditinjau Terhadap Karakteristik Marshall”. *Jurnal Sipil Statik*, 3(8), 562–570.
- Rancangan Standar Nasional Indonesia. (2003). *Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas Dengan Alat*

- Marshall.* RSNI M-01-2003.
- Selviany, D. (2023). *Sejumlah Wilayah di Tangerang Tergenang Banjir, Sebuah Mobil Nyaris Terseret Arus Air Bah.* Wartakota.Tribunnews.Com.
- Suparma, L. (2001). "The Use of Recycled Waste Plastics in Bituminous Composites". *Thesis Submitted to the University of Leeds for the Degree of Doctor of Philosophy.*
- Thanaya, I N.A. dan Wibawa I P.C. (2019). *Teknologi Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED)*. Penertbit Udayana University Press.
- Wikarga, I. G., Thanaya, I. N. A., & Suweda, W. (2017). "Analisis Karakteristik Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) dengan Epoxy Sebagai Bahan Tambah". *Jurnal Spektran (Vol. 5, Issue 2).*