

# CAMPURAN ASPAL EMULSI DINGIN (CAED) DENGAN PELEMBAB AGREGAT MENGGUNAKAN KOMBINASI CAMPURAN AIR LAUT DAN AIR TAWAR

I Nyoman Arya Thanaya<sup>1</sup>, I Nyoman Karnata Mataram<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Udayana, Jl. Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali

e-mail: aryathanaya@unud.ac.id

e-mail: nym.karnata@unud.ac.id

## ABSTRAK

Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) merupakan salah satu alternatif campuran perkerasan jalan ramah lingkungan (tanpa pemanasan). Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis: karakteristik CAED yang menggunakan kombinasi campuran air laut dan air tawar sebagai pelembab agregat pada kondisi Kadar Aspal Residu Optimum (KARO) dan nilai *Cantabro*. Pada produksi CAED agregat perlu dilembabkan dengan air sebelum dicampur dengan aspal emulsi. Pada penelitian ini air laut dimanfaatkan sebagai pelembab agregat karena masih banyak wilayah-wilayah yang masih sulit untuk mendapatkan air tawar. Pada penelitian ini digunakan CAED bergradasi rapat tipe IV dengan kombinasi campuran air laut dan air tawar: 0%:100%; 25%:75%; 50%:50%; 75%:25% dan 100%:0%. Material agregat diproporsikan sesuai gradasi tengah, dilembabkan dengan kombinasi air laut dan air tawar, ditambah aspal emulsi, diaduk rata, dianginkan kemudian dipadatkan dengan pemadatan Marshall 2x(2x75). Diperoleh hasil: stabilitas tertinggi dengan porositas terendah pada kombinasi air laut: air tawar, 75%:25%, yang kemudian dipilih sebagai sampel terbaik. Karakteristik CAED dengan kombinasi ini pada KARO memenuhi spesifikasi diantaranya: stabilitas rendaman 1486,85 kg (min 300kg); porositas 7,19% (5-10%); dan penyerapan air 3,84 % (maks 4%). Penelitian ini menunjukkan bahwa CAED menggunakan air laut sebagai pelembab memiliki workability yang baik dimana tidak terjadinya penggumpalan aspal saat proses pencampuran, dan nilai abrasi *Cantabro* pada kondisi *ful curing* 9,33%

**Kata kunci:** campuran aspal emulsi dingin, air laut, tidak menggumpal

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan aspal di kota-kota besar di Indonesia (salah satunya di Bali) semakin lama semakin meningkat untuk pembuatan jalan baru maupun perbaikan jalan. Aspal-aspal yang dominan digunakan adalah aspal panas (hot mix). Konstruksi menggunakan aspal panas menyebabkan polusi, salah satunya polusi udara akibat pembakarannya, sehingga dilakukan penelitian pengganti aspal panas tersebut dengan aspal dingin (salah satunya aspal emulsi) yang pengaplikasiannya tidak membutuhkan pembakaran sehingga mengurangi polusi.

Aspal emulsi tergolong mudah dalam penggunaan atau pencampurannya karena tidak memerlukan pemanasan terlebih dahulu (tingkat keselamatan kerja pekerjaan CAED cukup tinggi) sehingga cocok diaplikasikan dalam pekerjaan skala kecil seperti penambalan (patching). CAED juga memiliki kelemahan yaitu: porositas tinggi, kekuatan lemah pada umur awal, dan memerlukan waktu untuk meningkatkan kekuatan yang tergantung dari penguapan kandungan air, dimana hal ini akan lebih cepat tercapai pada daerah dengan temperatur panas, sehingga CAED cocok dikembangkan di negara beriklim tropis seperti di Indonesia (Thanaya, 2003).

Salah satu tahapan penting dalam perencanaan campuran aspal emulsi dingin yaitu pelembaban agregat/ tes penyelimutan (coating test). Tujuan dari pelembaban agregat adalah untuk memudahkan penyelimutan permukaan agregat dengan aspal emulsi, dimana air berperan sebagai 'viscosity reducing agent' (menurunkan kekentalan aspal emulsi).

Namun beberapa daerah di Indonesia khususnya di Bali masih terdapat kawasan yang sulit menemukan air tawar dan lebih mudah menemukan air laut seperti kawasan Kabupaten Karangasem daerah Kecamatan Kubu, Kawasan Kabupaten Klungkung daerah Nusa Penida, Nusa Lembongan dan Kawasan Kabupaten Buleleng daerah Pulau Menjangan. Kawasan-kawasan ini dapat memanfaatkan air laut sebagai pelembab agregat dengan dikombinasikan dengan air tawar. Dengan demikian kebutuhan air tawar pada campuran aspal emulsi dingin dapat dikurangi.

Pada pengaplikasian di lapangan, air laut tidak dapat langsung diambil dilaut pada saat proses coating test akan dilakukan, maka dari pada itu perlu waktu untuk pengambilan air laut tersebut. Setelah dilakukan pengambilan kemudian air laut tersebut disimpan pada tempat yang teduh (agar kadar salinitas tidak bertambah). Maka dari pada itu dilakukan penelitian memvariasi umur penyimpanan air laut yang akan digunakan sebagai pelembab agregat.

Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis: karakteristik Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) yang menggunakan kombinasi campuran air laut dan air tawar sebagai pelembab agregat pada kondisi Kadar Aspal

Residu Optimum (KARO), dan menganalisis nilai abrasi (*Cantabro*).

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED)

Campuran Aspal Emulsi Dingin menggunakan aspal emulsi untuk mengikat agregat. Aspal emulsi adalah aspal keras yang diemulsikan ke dalam air, pada suhu ruang berbentuk cair dan dapat dicampur serta dipadatkan pada suhu ruang tanpa memerlukan proses pemanasan. Peningkatan kekuatan CAED memerlukan penguapan kandungan air yang ada dalam campuran. Proses peningkatan kekuatan CAED sampai kekuatan optimal bisa memerlukan waktu cukup lama, tergantung kondisi cuaca untuk menguapkan kandungan air CAED.

Menurut Asphalt Institute (1989) dan MPW RI (1990) terdapat dua tipe gradasi untuk CAED yaitu OGEM dan DGEM. OGEM adalah campuran aspal emulsi dingin dengan agregat bergradasi terbuka dan aspal emulsi sebagai bahan pengikat yang dicampur tanpa proses pemanasan. DGEM/CEBR adalah campuran aspal emulsi dingin dengan agregat bergradasi rapat dan aspal emulsi sebagai bahan pengikat yang dicampur tanpa proses pemanasan. CEBR memiliki gradasi yang baik, dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai dengan agregat halus dengan komposisi rapat saling mengunci (Wulandari dkk, 2023).

Sampai saat ini belum ada metode perencanaan CAED yang berlaku secara universal, untuk itu penelitian ini didasarkan atas rekomendasi Thanaya (2007, 2009, 2019), dimana teknik penyelimutan campuran (*coating technique*) dilakukan dengan pelembaban agregat kasar saja dengan air laut kemudian diselimuti dengan sebagian aspal emulsi. Setelah itu agregat halus yang sudah dilembabkan dan sisa aspal emulsi dicampur dan diaduk rata. Cara ini dapat memberikan hasil penyelimutan yang lebih baik terutama pada permukaan agregat kasar. Selain itu penyediaan campuran sebelum dipadatkan dilakukan dengan menganginkan campuran secukupnya sampai mencapai kondisi gembur tidak ada bagian yang melengket kemudian dipadatkan. Enersi pemadatan yang diperlukan perlu dicoba terlebih dahulu untuk mencapai kepadatan yang memadai sehingga memenuhi ketentuan porositas yang diperlukan.

## 3. METODE PENELITIAN

Pengumpulan data dilakukan menggunakan alat-alat dan bahan yang sudah dipersiapkan dengan langkah-langkah prosedur diantaranya, seperti: studi pendahuluan, pemeriksaan agregat, pemeriksaan aspal emulsi, pembuatan benda uji, *curing*, dan uji Marshall. Setelah data yang diperlukan terkumpul kemudian dilakukan pengolahan data sehingga diperoleh hasil dari penelitian yang kemudian dianalisis.

### Pemeriksaan Material Bahan Campuran

Pemeriksaan material bahan campuran meliputi pemeriksaan agregat terdiri dari agregat kasar, agregat halus, dan *filler* (abus sekam padi) serta pemeriksaan aspal emulsi. Agregat alam diperoleh dari PT. Permata Indah Lestari-Gianyar Bali. Aspal emulsi jenis CSS-1h diperoleh dari PT. Triasindomix, Cabang Bali.

### Gradasi Agregat

Tipe gradasi agregat yang digunakan dalam campuran adalah gradasi batas tengah Campuran Dense Graded Emulsion Mix (DGEM) tipe IV (MPW-RI, 1990). Proporsi agregat dilakukan dengan cara proporsional berdasarkan gradasi Tengah. Proporsi tertahan agregat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dalam gradasi rencana batas tengah CEBR tipe IV, meliputi agregat kasar 42,5%, agregat halus 52% dan *filler* 5,5%.

### Estimasi Kadar Aspal Residu Dan Kadar Emulsi Awal

Dapat menggunakan cara-cara empiris yang ada, antara lain dengan menggunakan rumus (Asphalt Institute, 1989):

$$P = (0.05A + 0.1B + 0.5C) \times 0.7 \quad (1)$$

Kadar aspal residu dicari untuk menghitung kadar aspal emulsi awal. Kadar aspal emulsi awal digunakan untuk menentukan proporsi aspal emulsi pada tes penyelimutan, penentuan enersi pemadatan, dan tolak ukur variasi aspal emulsi dalam menentukan KARO. Pada penelitian ini kadar aspal residu dihitung dengan menggunakan rumus empiris Asphalt Institute (1989) dan didapat hasil kadar aspal residu awal 7%. Dari estimasi aspal residu awal 7% selanjutnya dibuat variasi kadar aspal residu untuk menentukan KARO.

### Tes Penyelimutan

Tes penyelimutan dapat dilakukan dengan mengikuti prinsip dan rujukan Asphalt Institute (1989) dan MPW RI (1990). Dilaksanakan dengan menggunakan agregat kering yang sudah diproporsikan sesuai gradasi agregat dengan total agregat sebanyak 500 gram, kemudian dilembabkan secara merata dengan variasi kadar air yang ditetapkan, yaitu: 2%, 3%, 4%, 5%, dan 6% dari berat total agregat. Setelah itu agregat lembab dicampur dengan aspal emulsi. Tingkat penyelimutan dipengaruhi oleh tingkat kelembaban agregat. Kadar air optimum

untuk tes ini, diambil pada variasi kadar air terkecil yang memberikan penyelimutan terbaik yang diobservasi secara visual, dimana campuran tidak terlalu encer atau kaku (Thanaya dan Wibawa, 2019).

Tes penyelimutan dilakukan bertujuan untuk mencari kadar air optimum. Kadar air optimum berfungsi untuk menurunkan kekentalan aspal emulsi dan memudahkan penyelimutan permukaan agregat dengan aspal emulsi.

**Pembuatan Sampel CAED Bergradasi CEBR Dan Pengkondisian Sampel Benda Uji**

Pembuatan sampel benda uji dilakukan dengan mengikuti prinsip dan rujukan Asphalt Institute (1989) dan MPW RI (1990). Campuran dibuat dengan memproporsikan sekitar 1000 gram agregat, aspal resedu dan aspal emulsi, dan kadar air penyelimutan yang telah ditentukan. Kemudian dilanjutkan dengan pemadatan benda uji.

Setelah pemadatan, benda uji didiamkan dalam ruang selama ± 24 jam dengan akses udara yang sama terhadap ke dua sisi benda uji selama 24 jam (bisa dilakukan dengan meletakkan benda uji dalam *mould* dengan sisi tertidur di lantai), kemudian dikeluarkan dari dalam *mould*.

Pengkondisian/*curing* sampel CAED dilakukan sebelum pengujian marshall terhadap sampel benda uji, meliputi:

A. Pengkondisian sampel dalam oven (*oven curing*)

Setelah benda uji dikeluarkan dari cetakan kemudian benda uji di oven pada suhu 40°C selama ± 24 jam dan kemudian didiamkan dalam ruang selama ± 24 jam.

B. Pengkondisian sampel terendam dalam bak air (*capillary soaking*)

*Capillary sooking* dilakukan setelah melewati pengkondisian benda uji dalam oven. Sampel setelah didiamkan dalam ruang selama ± 24 jam, kemudian direndam dalam bak air setengah dari ketinggian dari ketebalan sampel selama ± 24 jam pada suhu ruang dan sampel dibalik direndam kembali selama ± 24 jam pada suhu ruang.

**Campuran Agregat Dan Penentuan Enersi Pemadatan Campuran**

Penentuan enersi pemadatan campuran bertujuan menentukan pemadatan yang cukup memberikan kepadatan campuran aspal agar memenuhi syarat porositas dan stabilitas rendaman pada CAED. Untuk pekerjaan laboratorium pemadatan dilakukan dengan alat pemadat marshall dengan variasi pemadatan 2 x 75 tumbukan alat pemadat marshall dan 2 x (2 x 75) tumbukan alat pemadat marshall.

**Penentuan Kadar Aspal Residu Optimum (KARO)**

Penentuan kadar aspal reidu optimum diperlukan untuk menentukan kadar aspal residu yang cukup untuk campuran aspal dengan syarat spesifikasi campuran yang ditetapkan. KARO ditentukan dengan cara mengoptimalkan parameter stabilitas rendaman dan kepadatan kering campuran serta karakteristik campuran sebagai pendukung dan memenuhi syarat spesifikasi. Parameter-parameter nilai karakteristik campuran aspal diantaranya, meliputi: porositas, penyerapan, dan tebal film aspal dievaluasi sesuai spesifikasi dan memenuhi syarat campuran. Penentuan KARO juga dapat ditentukan sebagai nilai tengah dari rentan variasi kadar aspal residu yang memenuhi syarat. Variasi kadar aspal residu yang digunakan pada penentuan KARO, yaitu: 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, dan 8% untuk campuran aspal.

**Pengujian Marshall**

Pengujian marshall sampel benda uji CAED dilakukan dengan mengikuti prinsip dan rujukan Asphalt Institute (1989) dan MPW RI (1990). Tujuan dari dilakukannya pengujian marshall yaitu untuk mencari nilai stabilitas rendaman atau stabilitas kering dan pelelehan (*flow*). Sebelum dilakukan pengujian marshall, benda uji dikondisikan (*curing*). Pengujian Marshall CAED dilakukan pengkondisian benda uji sebelum uji Marshall pada suhu ruang 28°C – 30°C dalam kondisi kering maupun dalam kondisi terendam.

**Pengujian Stabilitas Sisa (*Retained Stability*)**

Stabilitas sisa adalah rasio antara stabilitas rendaman terhadap stabilitas kering. Nilai ini hanya dicari pada KARO dengan syarat > 50%.

**Perhitungan Tebal Film Aspal (TFA)**

Dalam menentukan Tebal Film Aspal diperlukan data luas permukaan agregat yang diperoleh dengan mengalikan antara persentase lolos kumulatif masing-masing ayakan dengan faktor luas permukaan. Selanjutnya TFA dihitung dengan rumus (Whiteoak, 1991):

$$\frac{\%A}{A} = \frac{1}{(100 - \%P)} \times \frac{1}{\dots} \quad (2)$$

**Pengujian Cantabro**

Pengujian Cantabro ini bertujuan untuk menentukan ketahanan benda uji terhadap keausan dengan menggunakan mesin los angeles. (CAL) Cantabro Abrasion Loss dihitung dengan membandingkan berat benda uji semula dengan berat sisa setelah diadakan pengujian. Nilai CAL yang diperoleh menurut spesifikasi adalah maks 16 % (Hamzah et al, 2010). Kehilangan berat dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Woodside, 1997) :

$$CAL = \left( \frac{W_1 - W_2}{W_1} \right) \times 100 \% \quad (3)$$

Pengondisian sampel *cantabro* dilakukan sebelum campuran yaitu: pengondisian dalam oven 40°C selama ±24 jam (*oven curing*) dan pengondisian dalam oven 40°C sampai berat sampel tetap campuran tidak mengandung air (*full curing*), yang memerlukan waktu pengovenan antara 18-21 hari.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Hasil Pemeriksaan Agregat

Pemeriksaan agregat bertujuan untuk menentukan dan menganalisis karakteristik agregat yang digunakan untuk campuran aspal. Pemeriksaan agregat dilakukan untuk masing-masing agregat yaitu: agregat kasar, agregat halus, *filler* (abu sekam padi). Hasil pemeriksaan agregat dapat dilihat pada Tabel 1. Dari Tabel 1 dapat disimpulkan bahwa agregat kasar, agregat halus, dan filler telah memenuhi spesifikasi.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan agregat

Pemeriksaan	Hasil	Spesifikasi
B. J dan penyerapan agregat kasar		
- Berat jenis <i>bulk</i>	2.402	-
- Berat jenis SSD	2.460	-
- Berat jenis <i>apparent</i>	2.552	-
- Penyerapan air	2.450%	3%
I dan penyerapan agregat halus		
- Berat jenis <i>bulk</i>	2.538	-
- Berat jenis SSD	2.709	-
- Berat jenis <i>apparent</i>	2.740	-
- Penyerapan air	2.902%	3%
Berat jenis filler	0.765	- Maks
Keausan agregat kasar	35.043%	40% Maks
Kadar lempung agregat kasar	0.690%	1% Min
Agularitas agregat kasar	97.360%	95% Min
Nilai setara pasir agregat halus	94.806%	50%

##### Hasil Pemeriksaan Aspal Emulsi

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini berupa aspal emulsi yang diperoleh dari PT Triasindomix Sidoarjo, Jawa Timur. Pada penelitian ini pengujian aspal yang dilakukan hanya pengujian kadar residu dari aspal emulsi sedangkan untuk nilai berat jenis aspal emulsi digunakan data sekunder yang bersumber dari PT. Trisindomix. Berdasarkan pengujian hasil yang diperoleh dalam pengujian kadar residu dari aspal emulsi sebesar 57.68% sudah memenuhi spesifikasi yaitu minimal 57%. Pemeriksaan aspal emulsi dimaksudkan menentukan dan menganalisis karakteristik aspal emulsi yang digunakan untuk campuran aspal.

##### Kadar Air Penyelimutan Campuran

Hasil tes penyelimutan dengan penilaian secara visual yang telah dilakukan, ditetapkan bahwa campuran dengan kadar air 4% dari total berat agregat sebagai kadar air optimum yang akan digunakan sebagai kadar air untuk campuran. Kadar air optimum dipilih dengan diobservasi secara visual yang memberikan penyelimutan terbaik dan campuran tidak terlalu encer akibat kelebihan kadar air atau bersifat kaku akibat kekurangan kadar air. Untuk campuran CAED bergradasi tipe IV digunakan kadar air penyelimutan 4%.

##### Campuran Agregat Dan Enersi Pematatan Campuran Aspal

Dalam penentuan enersi pematatan, berat total campuran yang dipergunakan adalah 1050 gram dengan kadar air 4 % dan kadar aspal residu 7.5%. Dengan pematatan 2x75 porositas yang dihasilkan tidak memenuhi spesifikasi yang ditentukan, sehingga energi pematatan perlu ditingkatkan kembali. Sehingga energi pematatan 2x(2x75) digunakan sebagai energi pematatan karena stabilitas dan porositas memenuhi

persyaratan (5-10)% (MPWRI, 1990).

### Kadar Aspal Residu Optimum (KARO)

Untuk mendapatkan kadar aspal residu optimum, maka kadar aspal residu awal divariasi sebagai berikut: 6,0 %; 6,5 %; 7,0 %; 7,5 %; dan 8,0 %. Setelah ditetapkan variasi kadar aspal residu untuk masing-masing campuran kemudian dibuat rancangan campuran benda uji, proporsi campuran untuk masing-masing kadar aspal residu. Dari hasil perhitungan Stabilitas, Deformasi (Flow), Densitas, Porositas(VIM), Penyerapan Air, Kadar Air pada saat testing, nilai Rongga Antar Butiran Agregat/Void in Mineral Aggregates (VMA), nilai Rongga Udara Terisi Aspal/Voids Filled with Bitumen (VFB) dan Tebal Film Aspal (TFA) yang telah dilakukan dan diperoleh kadar aspal resedu optimum (KARO) yaitu pada kadar 7.5% (Gambar 1).

Karakteristik Marshall	Kadar aspal residu				
	6.50%	7%	7.50%	8%	8.50%
Stabilitas (kg)					
Porositas atau VIM (%)					
Penyerapan air (%)					
Tebal Film Aspal (mikron)					



Gambar 1. Penentuan Kadar Aspal Residu Optimum (KARO)

### Tebal Film Aspal (TFA)

Dengan mempergunakan Persamaan 2, diperoleh tebal film aspal yaitu 13.61  $\mu\text{m}$  memenuhi spesifikasi minimal 8  $\mu\text{m}$ .

### Karakteristik CAED pada Kondisi KARO dengan Kombinasi Campuran Air Laut dan Air Tawar Sebagai Pelembab

Kombinasi campuran air laut dan air tawar yang digunakan pada penelitian ini yaitu: Kombinasi 1: 0% : 100 % ; Kombinasi 2: 25% : 75% ; Kombinasi 3: 50% : 50% ; Kombinasi 4: 75% : 25% ; Kombinasi 5: 100%:0%. Karakteristik sifat-sifat CAED bergradasi CEBR secara umum, diantaranya: kepadatan kering, stabilitas rendaman, kelelehan, porositas/VIM, rongga antar butir agregat/VMA, rongga udara terisi aspal/VFB, penyerapan air, dan Tebal Film Aspal (TFA).

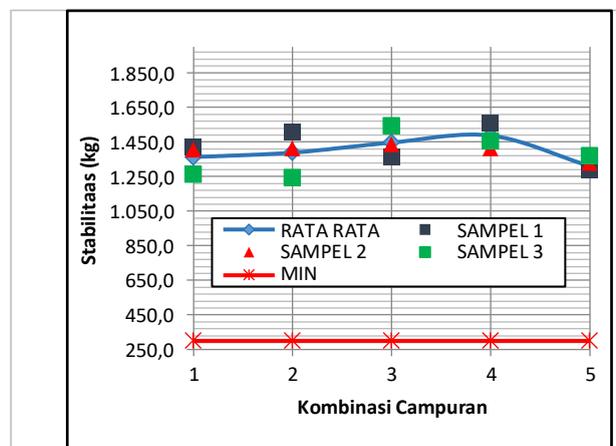
## Hasil Pencampuran

Menurut hasil penelitian didapatkan bahwa penyelimutan aspal pada CAED tergolong baik. Dapat dilihat dari proses pencampuran yang menunjukkan bahwa pada saat agregat yang sudah dilembabkan dengan kombinasi campuran air laut dan air tawar kemudian dicampur dengan aspal terlihat tekstur pada campuran tidak menggumpal. Bahkan dengan tidak mengkombinasi air laut dengan air tawar pun (full air laut) masih menunjukkan workability yang baik. Hal ini membuktikan bahwa workability dari campuran aspal emulsi dingin (CAED) dengan kombinasi campuran air laut dan air tawar dapat diterapkan. Karakteristik CAED menggunakan kombinasi campuran air laut dan air tawar sebagai pelembab agregat dirangkum pada Tabel 2, dan grafik hubungan karakteristik Marshall dan kombinasi campuran disajikan pada Gambar 2 sampai Gambar 6 (berdasarkan kombinasi 4 yang memberi hasil terbaik). Nilai stabilitas gradasi rapat umumnya memang cukup tinggi akibat sifat saling kunci antar agregat (Mulyana, 2021).

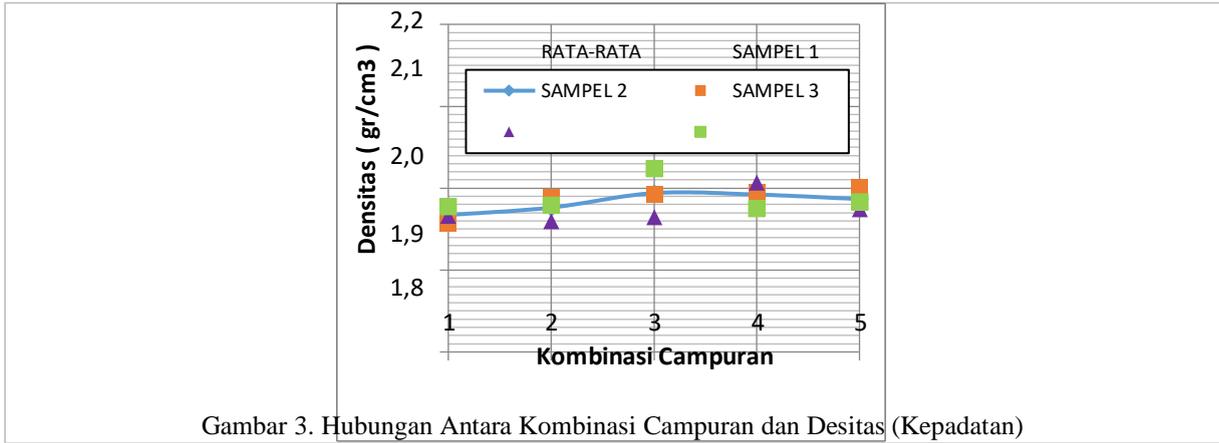
Tabel 2. Karakteristik CAED menggunakan kombinasi campuran air laut dan air tawar sebagai pelembab

Karakteristik campuran	Kadar aspal residu optimum 7,5 (%), pada % kombinasi camp:					Spesifikasi Campuran
	1 (0al:100at)	2 (25al:75at)	3 (50al:50at)	4 (75al:25at)	5 (100al:0at)	
Kepadatan kering (gr/cm <sup>3</sup> )	1,967	1,976	1,994	1,992	1,987	-
Stabilitas rendaman (kg)	1362.64	1388.59	1446.75	<b>1486.85</b>	1309.44	Min 300 kg
Kelelehan/flow (mm)	7.76	5.61	7.92	5.83	7.11	-
Porositas (%)	8.40	7.75	7.27	7.19	7.34	5% - 10%
VMA (%)	22.13	21.57	21.17	21.10	21.23	-
VFB (%)	62.05	64.11	65.74	66.00	65.48	-
Penyerapan air (%)	3.43	3.63	3.86	3.84	3.70	Maks 4%
Tebal film aspal (µm)	13.61	13.61	13.61	13.61	13.61	Min 8 µm
Stabilitas sisa (%)	80	85	88	90	86	>50%

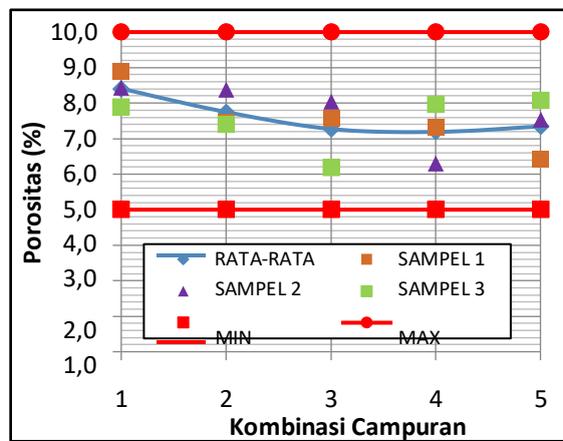
Ket: al=air laut; at= air tawar



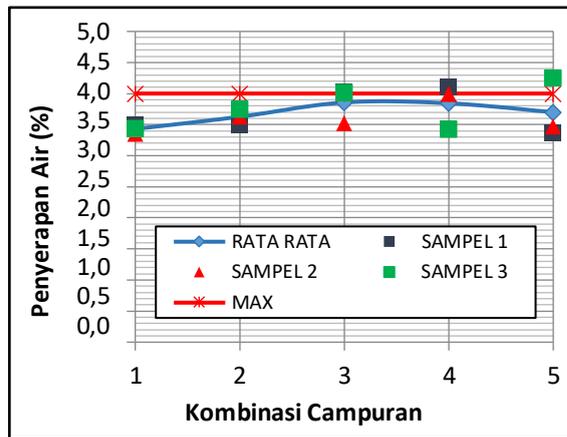
Gambar 2. Hubungan Antara Kombinasi Campuran dan Stabilitas



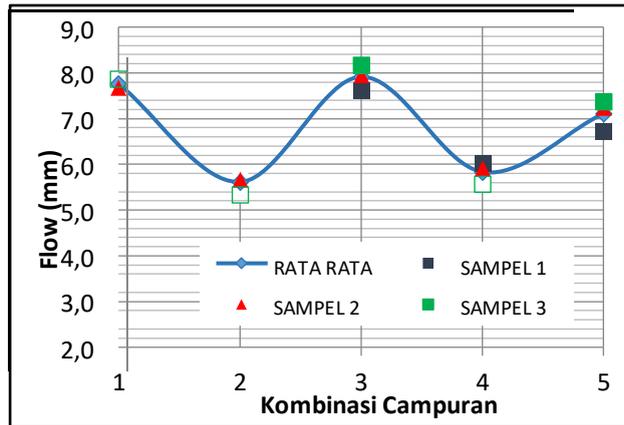
Gambar 3. Hubungan Antara Kombinasi Campuran dan Densitas (Kepadatan)



Gambar 4. Hubungan Antara Kombinasi Campuran dan Porositas



Gambar 5. Hubungan Antara Kombinasi Campuran dan Penyerapan Air



Gambar 2 e.

Gambar 6. Hubungan Antara Kombinasi Campuran dan Flow

Tabel 3. Rangkuman nilai *Cantabro* pada KARO

Sampel benda uji	<i>Cantabro</i> (%)
<i>Oven (design) curing</i> (Dalam oven 40°C selama 24 jam)	100
<i>Full curing</i> (Dalam oven 40°C sampai berat konstan: 18-21hari)	9.33

Nilai abrasi (*Cantabro*) untuk sampel pada kondisi design curing 100%, mengindikasikan sampel belum memiliki ikatan optimal. CADD memerlukan kondisi full curing untuk mencapai kondisi ikatan optimalnya Dimana nilai Cantabronya 9,33% <16%, menurut Hamzah (2010).

## 5. SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Simpulan dari ringkasan hasil penelitian:

1. Hasil pencampuran CAED menggunakan kombinasi campuran air laut dan air tawar sebagai pelembab agregat menunjukkan *workability* yang baik, dengan tidak terjadinya penggumpalan aspal pada campuran dan seluruh karakteristik memenuhi spesifikasi diantaranya stabilitas, porositas, penyerapan air, dan tebal film aspal, sehingga campuran layak untuk diterapkan.
2. Bertambahnya kadar air laut pada campuran menghasilkan stabilitas yang semakin tinggi sampai pada kombinasi 75% air laut : 25% air tawar kemudian stabilitas menurun namun tidak signifikan pada kadar air laut 100%.
3. Nilai uji Cantabro CAED pada kondisi full curing 9,33% < 16 %.

### Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat dikemukakan saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengkajian terhadap unsur-unsur mineral yang terkandung dalam air laut dan sifat-sifatnya.
2. Saat proses coating test lebih baik jika agregat kasar dilembabkan terlebih dahulu setelah itu baru dilanjutkan dengan agregat halus kemudian filler. Hal ini dilakukan agar penyelimutan agregat lebih sempurna.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asphalt Institute. (1989). *Asphalt Cold Mix Manual*. Manual Series No.14 (MS-14), Third Edition, Lexington, USA.
- Ministry of Public Works Republic of Indonesia (MPWRI). (1990). *Paving Specification Utilizing Bitumen Emulsion*. Jakarta, Indonesia.
- Mulyana, S. (2021). "Karakteristik Campuran Aspal Emulsi Dingin Bergradasi Rapat Type III dan Type IV". *Jurnal konstruksi*. Vol 19 No 1 2021. <https://jurnal.itg.ac.id/index.php/konstruksi/article/view/945> , diakses 18-8-24
- Hamzah, M. O., Hasan, M. R. M., Che Wan, C. N., and Abdullah, N. H., A. (2010). "Comparative Study on Performance of Malaysian Porous Asphalt Mixes Incorporating Conventional and Modified Binders". *Journal*

- of Applied Sciences* 10(20),pp2403-2410.  
<http://www.h-a-d.hr/pubfile.php?id=619>, diakses 26/02/2017.
- Thanaya, I N.A. (2003). *Improving the Performances of Cold Bituminous Emulsion Mixtures Incorporating Waste Materials*. Ph.D. Thesis. University of Leeds, UK.
- Thanaya, I N.A. (2007). "Review and Recommendations of Cold Asphalt Emulsion Mixtures (CAEMs) Design". *Journal of Civil Engineering Science and Application: Civil Engineering Dimension*. Volume 9, No. 1, March 2007, Pp. 49-56, Petra Christian University, ISSN 1410-9530, Surabaya, Indonesia.
- Thanaya, I N.A, Zoorob, S.E., Forth, J.P. (2009). "A Laboratory Study on Cold Mix Cold Lay Emulsion Mixtures". *Journal of the Institution of Civil Engineers (ICE) UK, Transport*, Volume 162, Issue TR1, Page 47-55, February 2009, ISSN 0965-092X. Thomas Telford Publisher-London.
- Thanaya, I N.A., Wibawa, I P.C. (2019). *Teknologi Campuran Aspal Emulsi Dingn (CAED)*, Udayana University Press.
- Wulandari P.S., Johnson, Santoso L. , Y Kristianto Y. dan Billy, M. (2023). "A Laboratory Study on Open and Dense Graded Cold Asphalt Emulsion Mixtures for Surface Courses". [IOP Conference Series: Earth and Environmental Science](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1134/1/012013).  
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1134/1/012013> , diakses 17-8-24.
- Whiteoak, D. (1991). *The Shell Bitumen Hand Book* . Shell Bitumen - UK.
- Woodside, A.R. (1997). "Use The Cantabro Test For Rapidly Predict The Performance of Bituminous Materials ". Proceedings of 2nd European Symposium. University of Leeds. UK.