

## ANALISIS KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL EMULSI DINGIN (CAED) DENGAN EPOXY SEBAGAI BAHAN TAMBAH

I Gde Wikarga<sup>1</sup>, I Nyoman Arya Thanaya<sup>2</sup>, I Wayan Suweda<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Udayana  
Email: [wikarga@gmail.com](mailto:wikarga@gmail.com)

### ABSTRAK

Salah satu jenis campuran aspal yang sedang dikembangkan pemakaiannya adalah Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED), yang kinerjanya perlu ditingkatkan. Dalam penelitian ini dilakukan dengan menambahkan *epoxy*. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis karakteristik CAED dengan dan tanpa *epoxy*. Variasi *epoxy* yang digunakan adalah 1%, 3%, dan 6% terhadap kadar residu aspal. *Epoxy* dicampur dengan *hardener* dengan perbandingan 3:1, setelah itu dicampur dengan aspal emulsi. Penambahan *epoxy* dilakukan pada Kadar Aspal Residu Optimum (KARO) sebesar 7,5%. Agregat dilembabkan terlebih dahulu kemudian dicampur dengan aspal emulsi yang sudah ditambah *epoxy*, kemudian dipadatkan. Diperoleh bahwa karakteristik CAED dengan penambahan *epoxy* 1% dan 3% memenuhi spesifikasi, namun CAED dengan kadar 6% tidak memenuhi spesifikasi karena memiliki porositas 17,83% (spek. 5%-10%). Stabilitas rendaman CAED tanpa dan dengan 3% *epoxy* masing-masing 1177,02 kg dan 1416,47 kg. Penambahan 3 % *epoxy* pada CAED dapat meningkatkan stabilitas hingga 20%. Pada pengujian kekakuan, deformasi, dan kelelahan, CAED 0% *epoxy* berbanding CAED 3% *epoxy* memiliki nilai kekakuan 1854 MPa: 959 MPa (-48,27%); regangan yang mampu ditahan pada pengulangan pembebanan (Nf) 1 juta kali masing-masing sebesar 78,09  $\mu\epsilon$ : 93,22  $\mu\epsilon$  (+19,38%); Nf pada regangan 100  $\mu\epsilon$  sebesar 358.897 kali: 539.585 kali (+50,35%); nilai kemiringan kurva rangkai 23,752: 39,939 (runtuh sebelum 3600 pengulangan beban). Namun, dengan penambahan *epoxy* campuran menjadi lebih kaku sehingga meningkatkan porositas menjadi 20%. Disarankan untuk mengurangi kadar *hardener* agar *workability* semakin baik dan porositas menurun.

**Kata kunci:** CAED, *epoxy*, kekakuan, kelelahan, rangkai.

## CHARACTERISTIC ANALYSIS OF COLD ASPHALED MIXED EMULLES (CAED) WITH EPOXY AS ADDITIONAL MATERIAL

### ABSTRACT

One of asphalt mixture being developed is Cold Bituminous Emulsion Mixtures (CBEMs) that its performances need to be improved. Within this experiment it is done by adding *epoxy*. The objective of this study was to analyze the characteristic of CBEMs with and without *epoxy*. *Epoxy* variation was 1%, 3%, and 6% by weight of residual bitumen. The *epoxy* was mix with hardener in ratio 1:3, then mixed with bituminous emulsion. *Epoxy* was added into the Optimum Residual Bitumen Content (ORBC) of 7,5%. The aggregate was dampened with water first then mixed with emulsion that had been added with *epoxy*, then compacted. It was found that CBEMs added with 1% and 3% *epoxy* met the specifications, however CBEMs with 6% of *epoxy* did not, because the porosity was 17,83% (spec.5%-10%). The soaked stability of the mixture without and with *epoxy* 3% was 1177,02 kg and 1416,47 kg. Addition of 3% *epoxy* increase soaked stability up to 20%. In stiffness, creep, and fatigue tests, CBEMs without *epoxy* compared by CBEMs with 3% of *epoxy*, respectively gave result: stiffness 1854 MPa: 959 MPa (-48,27%); strain at  $10^6$  loads repetition (Nf) was 78,09  $\mu\epsilon$ : 93,22  $\mu\epsilon$  (+19,38%); Nf at strain 100  $\mu\epsilon$  was 358.897 times: 539.585 times (+50,35%); creep slope was 23,752: 39,939 (sample was collapsed before 3600 loads repetition). However, *epoxy* caused the mix stiffer hence increase the porosity of the mixture to 20%. It is suggested to reduce the hardener content of the *epoxy*, to maintain *workability* and reduce porosity.

**Keyword:** CBEMs, *epoxy*, stiffness, fatigue, creep.

## 1. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah dan berat kendaraan sangat mempengaruhi kinerja perkerasan. Beban yang besar dan berulang dapat menyebabkan deformasi (*rutting*), kelelahan (*fatigue*), dan berkurangnya umur pelayanan dari perkerasan. Kelelahan (*fatigue*) dan deformasi (*rutting*) adalah kerusakan yang paling sering dialami oleh perkerasan jalan aspal, sehingga menyebabkan umur pelayanan perkerasan berkurang (Moghaddam, *et al*, 2011). Dampak lainnya adalah pembengkakan pada biaya pemeliharaan dan konstruksi jalan.

Salah satu jenis campuran yang sedang dikembangkan pemakaiannya adalah Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED). CAED adalah campuran antara agregat dengan aspal emulsi. Keunggulan dari CAED antara lain: sangat cocok dikembangkan di negara beriklim tropis seperti Indonesia, karena untuk meningkatkan kekuatan campuran, diperlukan panas untuk menguapkan kandungan air yang ada di dalam campuran (Thanaya, 2012); Teknologi campuran aspal dingin dapat memberikan efisiensi energi sampai dengan 40% (Dinnen, 1998); CAED sangat aman dalam pengerjaan, karena tidak memerlukan pemanasan (Thanaya, 2012). Selain kelebihan tersebut, CAED juga memiliki beberapa kelemahan. Menurut Thanaya (2012), secara umum ada tiga kelemahan utama CAED, yaitu kekuatan lemah pada umur awal, memerlukan waktu *curing* yang lama (penguapan kandungan air untuk meningkatkan kekuatan), dan porositas tinggi. CAED memerlukan energi pemadatan yang tinggi, karena saat dipadatkan pada suhu ruang, butiran aspal emulsi semakin berikatan yang menyebabkan campuran menjadi semakin kaku. Campuran yang kaku memerlukan energi pemadatan yang lebih tinggi untuk mencapai porositas yang diisyaratkan.

Menurut Wikipedia (2015), *epoxy* atau *polyepoxide* adalah termoset *epoxide* polimer yang mengeras (polimerisasi dan *crosslinks*) bila dicampur dengan agen katalisator atau *hardener*. Sifat *epoxy* yang unggul, antara lain: adhesi yang baik, kekuatan tarik yang tinggi, dan masa *curing* yang relatif cepat. Untuk mengatasi kelemahan CAED dan juga untuk mengatasi deformasi (*rutting*) dan kelelahan (*fatigue*) yang sering terjadi pada perkerasan, digunakan *epoxy* sebagai bahan tambah.

Sehubungan dengan hal tersebut, perlu adanya penelitian tentang analisis karakteristik Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) dengan *epoxy* sebagai bahan tambah.

## 2. CAMPURAN ASPAL EMULSI DINGIN (CAED)

Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) menggunakan aspal emulsi untuk mengikat agregat dan dapat dicampur dan dipadatkan pada temperatur ruang tanpa memerlukan pemanasan.

### 2.1 Gradasi Campuran

Gradasi CAED tipe Campuran Emulsi Bergradasi Rapat ada 6 jenis. Setiap jenis dari gradasi ini memiliki kegunaan yang berbeda-beda, ada yang dipergunakan untuk lapis aus, lapis antara, dan base.

Tabel 1 Gradasi CEBR

Ukuran ayakan		Tipe CEBR					
No	mm	I	II	III	IV	V	VI
2"	50	100					
1 1/2"	37,5	90 - 100	100				
1"	25		90 - 100	100			
3/4"	19	60 - 80		90 - 100	100		
1/2"	12,5		60 - 80		90 - 100	100	100
3/8"	9,5			60 - 80		90 - 100	
No.4	4,75	20 - 55	25 - 60	35 - 65	45 - 70	60 - 80	75 - 100
No.8	2,36	10-40	15 - 45	20 - 50	25 - 55	35 - 65	
No.16	1,18						
No.30	0,6						
No.50	0,3	2-16	3-13	3-20	5-20	6-25	15 - 30
No.100	0,15						
No.200	0,075	0 - 5	1-7	2-8	2-9	2-10	5-12

Sumber: MPW-RI (1990)

### 2.2 Persyaratan Sifat-sifat CAED

Sifat-sifat CAED yang dijadikan syarat relatif hampir menyerupai campuran panas, yang menjadi faktor pembeda terbesar adalah pada stabilitas rendaman, karena stabilitas ini hanya dapat didapatkan dari campuran aspal yang menggunakan air seperti CAED.

Tabel 2 Spesifikasi CAED

Sifat Campuran		I	II	III	IV	V	VI
Kadar Bitumen Efektif	Minimum	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,5
Kadar Bitumen Terserap	Maksimum	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Kadar Bitumen Total							
minimum sesungguhnya	Minimum	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	6,5
(% berat total campuran)							
Stabilitas Rendaman (kg)	Minimum	300	300	300	300	300	300
Kadar rongga	Minimum	5	5	5	5	5	5
Potensial <sup>1)</sup> (% berat total campuran padat)	Maksimum	10	10	10	10	10	10
Penyerapan air (% berat total campuran padat)	Maksimum	4	4	4	4	4	4
Tebal film bitumen (mikron)	Minimum	8	8	8	8	8	8
Tingkat penyelimutan	Minimum	75	75	75	75	75	75
(% total permukaan agregat)							
Tebal lapisan yang	Minimum	80	50	40	30	25	25
disyaratkan (mm)	Maksimum <sup>*)</sup>	150	100	100	75	75	75

\*) Dapat diubah sesudah uji pemadatan percobaan

Sumber: Bina Marga (1991)

#### 2.4 Pengujian kekakuan ((Indirect Tensile Stiffness Modulus-ITSM)

Campuran aspal lebih sensitif terhadap tegangan tarik dari pada tegangan tekan, karena itu perlu dilaksanakan pengujian terhadap modulus kekakuan tarik campuran aspal. Pengujian kekakuan dihitung melalui rumus berikut (BS EN 12607-26:2012):

$$E = \frac{F \times (v+0.27)}{(z \times h)} \quad (1)$$

$$E' = E \times (1 - 0.322 \times (\log(E) - 1.82) \times (0.60 - k)) \quad (2)$$

Keterangan:

E = nilai ITSM dalam Mpa

F = beban vertikal puncak dalam Newton (N)

Z = deformasi horizontal (mm)

v = poisson's ratio (0.35) suhu 20 °C

h = tebal sampel (mm)

E' = nilai ITSM dalam Mpa, yang sudah disesuaikan dengan load faktor 0,60

k = load area faktor yang diukur.

#### 2.5 Pengujian kelelahan (Fatigue)

Fatigue adalah keretakan yang diakibatkan oleh regangan dan tegangan yang berulang. Ketahanan terhadap fatigue, atau umur fatigue (fatigue life) adalah lebih besar pada temperatur rendah karena campuran aspal lebih kaku (Whitoeak, 1991). Untuk pengujian kelelahan digunakan rumus sebagai berikut (BS EN 12697-24:2012):

$$\sigma = \frac{2F}{\pi \times t \times \Omega} \quad (3)$$

$$\varepsilon = \left( \frac{2\Delta H}{\Omega} \right) \times \left[ \frac{1 + 3\nu}{4 + \pi \times \nu - \pi} \right] \quad (4)$$

$$S_{mix} = \frac{\sigma_{max}}{\varepsilon_{max}} \times (1 + 3\nu) \quad (5)$$

Keterangan :

$\sigma$  = tekanan tarik horizontal pada bagian pusat sampel (MPa)

F = beban dalam Newton (N)

t = tebal sampel (mm)

$\Omega$  = diameter sampel (mm)

$\Delta H$  = deformasi horizontal (mm)

$\varepsilon$  = regangan horizontal dalam mikron per meter ( $\mu m/m$ )

$\nu$  = Poisson's ratio

$S_{mix}$  = Stiffness modulus (MPa)

## 2.6 Pengujian ketahanan Rangkak (Creep)

Ketahanan deformasi adalah kemampuan sample untuk menerima pengulangan beban dalam jangka waktu tertentu. Faktor yang mempengaruhi kinerja rangkak adalah penetrasi aspal, gradasi agregat, bentuk tekstur agregat, penguncian agregat, dan tingkat pemadatan. Untuk pengujian kekakuan digunakan rumus sebagai berikut (BS EN 12697-25:2005):

$$\epsilon_n = 100 \times \left( \frac{h_o - h_n}{h_o} \right) \quad (6)$$

Keterangan :

$\epsilon_n$  = regangan axial kumulatif pada  $n$  aplikasi beban (%)

$h_o$  = tinggi sampel rata – rata sebelum diberi beban awal (*pre load*) (mm)

$h_n$  = tinggi sampel rata – rata setelah diberi  $n$  beban (mm)

$$E_n = \frac{\sigma}{\epsilon_n} \times 1000 \quad (7)$$

Keterangan :

$E_n$  = modulus kekakuan rangkak (*creep stiffness modulus*)  $n$  beban (Mpa)

$\sigma$  = tekanan (kpa)

Nilai dari kemiringan kurva rangkak dinamis diperoleh dari persamaan linier pada grafik antara regangan dengan jumlah pengulangan beban pada *secondary stage*. Berdasarkan *trend line* maka akan diperoleh persamaan linear:

$$y = ax + b \quad (8)$$

dimana  $a$  adalah kemiringan kurva, yang kemudian dicek pada Tabel 3.

Tabel 3 Kemiringan Minimum *Dynamic Creep*

Temperatur tahunan rata-rata perkerasan (°C)	Beban lalu lintas berat >10 <sup>6</sup> ESA	Beban lalu lintas sedang 5x10 <sup>5</sup> - 10 <sup>6</sup> ESA	Beban lalu lintas ringan < 5x10 <sup>5</sup> ESA
> 30	< 0.5	0.5 - 3	> 3 - 6
20 -30	< 1	1 - 6	> 6 - 10
10 - 20	< 2	2 - 10	-

Sumber : Alderson (1995)

## 3. MATERIAL DAN METODE

### 3.1 Material

Dalam penelitian ini menggunakan CAED Tipe IV. Komposisi material dari campuran ini adalah aspal emulsi, agregat, dan *epoxy*. Aspal emulsi yang digunakan adalah tipe CSS-1h, untuk agregat menggunakan ex Butus, dan untuk bahan tambah menggunakan *epoxy* merk AOI GROUT.

### 3.2 Metode

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian material terlebih dahulu, setelah itu dilakukan pemilihan gradasi ideal dan proporsi campuran. Dari proporsi yang telah dilakukan, dapat dihitung estimasi Kadar Residu Aspal Emulsi (KRAE). Selanjutnya dilakukan tes penyalutan. Dari estimasi KRAE dibuat 5 variasi kadar aspal, yaitu: 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, 8%.

Penambahan *epoxy* dengan aspal emulsi dilakukan dengan variasi 1%, 3%, dan 6% terhadap kadar residu aspal emulsi (KRAE) dengan kadar aspal yang digunakan adalah Kadar Aspal Residu Optimum (KARO). Perbandingan *epoxy* dengan *hardener* sebesar 3:1. Pencampuran dilakukan setelah *epoxy* dicampur dengan *hardener* terlebih dahulu, selanjutnya dapat dicampur dengan aspal emulsi. Prosedur berikutnya adalah prosedur standar pembuatan benda uji marshall namun dengan pemadatan 2x2x75 untuk memenuhi syarat porositas.

Selanjutnya sampel diuji Marshall. Untuk pengujian kekakuan, kelelahan, deformasi, dilakukan pada CAED tanpa *epoxy* dan dengan *epoxy* 3%, pada kondisi full curing (semua kadar air sudah diuapkan dengan mengoven sampel pada suhu 40 °C sampai beratnya tetap).

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Karakteristik Agregat

Karakteristik agregat dirangkum dalam Tabel 4. Semua karakteristik agregat memenuhi spesifikasi yang ditentukan dan dapat digunakan sebagai bahan campuran CAED.

Tabel 4 Ringkasan karakteristik agregat

Material	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi		
Agregat Kasar	Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan	Bulk	-	2,201	-	
		SDD	-	2,264	-	
		Apparent	-	2,349	-	
		Penyerapan	%	2,859	Maks.3%	
	Pemeriksaan Angularitas Agregat Kasar		%	98,587	Min.95%	
		Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar		%	34,955	Maks.40%
				%	6,019	Maks.12%
		Pemeriksaan Kadar Lempung Agregat Kasar	%	0,547	Maks.1%	
	Agregat Halus	Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan	Bulk	-	2,249	-
			SDD	-	2,304	-
Apparent			-	2,381	-	
		Penyerapan	%	2,459	Maks.3%	
Pemeriksaan Angularitas Agregat Halus			%	45,279	Min.45%	
		Pemeriksaan Sand Equivalent	%	84,379	Min.60%	
Filler	Pemeriksaan Berat jenis	Bulk	-	2,670	-	
		SDD	-	2,670	-	
		Apparent	-	2,670	-	

##### 4.2 Karakteristik Aspal Emulsi

Ringkasan hasil pemeriksaan aspal dituangkan pada Tabel 5. Dari tabel tersebut terlihat bahwa hasil pengujian aspal emulsi CSS-1h secara umum memenuhi persyaratan spesifikasi.

Tabel 5 Ringkasan karakteristik aspal emulsi CSS-1h

Parameter yang diuji	Satuan	Hasil	Spek.
Berat Jenis*	-	1,014	-
Kadar Aspal Residu	%	58,1%	Min. 57

\*Sumber: PT. Triasindomix (2015)

##### 4.3 Karakteristik Epoxy

Ringkasan hasil pemeriksaan epoxy dituangkan pada Tabel 6. Data karakteristik epoxy adalah data sekunder.

Tabel 6 Hasil pengujian berat jenis dan karakteristik lainnya

Parameter yang diuji	Notasi	Hasil
Berat Jenis	gr/mm <sup>3</sup>	1,25
Kuat Tekan Leleh	MPa	30,58
Kuat Tarik	MPa	10,06

Sumber: Puslitbang (2014)

Selain pengujian diatas, dilakukan juga pengujian *setting time* dan penggumpalan. Hal ini bertujuan agar pada saat epoxy dicampur dengan aspal emulsi tidak terjadi penggumpalan dan tidak mengeras pada saat pencampuran atau pematangan.

Tabel 7 Hasil pengujian *setting time* dan penggumpalan dengan aspal emulsi

Parameter yang diuji	Notasi	Hasil
Setting Time	Menit, 100gr, 30 <sup>o</sup> C	30
Penggumpalan	-	Tidak ada

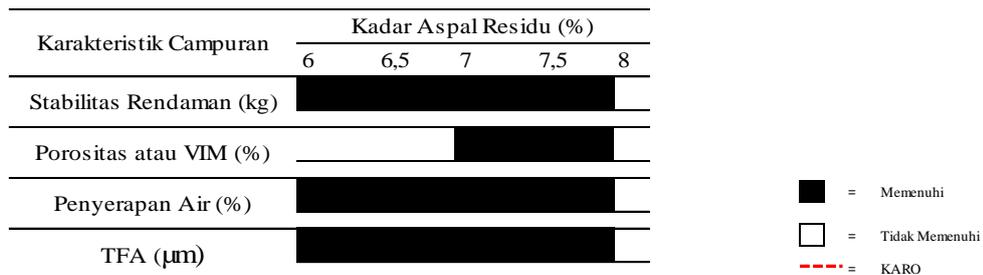
##### 4.4 Karakteristik CAED

Ringkasan karakteristik CAED dengan rentang kadar aspal 6% hingga 8% dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Karakteristik CAED

Karakteristik Campuran	Kadar Aspal Residu (%)					Spesifikasi
	6	6,5	7	7,5	8	
Stabilitas Rendaman (kg)	1118,43	1142,77	1186,72	<b>1177,02</b>	1044,19	≥ 300 kg
Porositas atau VIM (%)	12,20	10,79	9,46	<b>8,17</b>	7,73	5-10%
Penyerapan Air (%)	2,64	2,52	2,44	<b>2,39</b>	2,37	≤ 4%
TFA (µm)	10,68	11,63	12,59	<b>13,56</b>	14,54	Min. 8 µm
VMA (%)	27,97	28,01	28,14	<b>28,32</b>	29,17	-
VFB (%)	56,36	61,48	66,38	<b>71,16</b>	73,49	-
Flow (mm)	3,40	3,80	4,36	<b>5,60</b>	6,90	-
Density (gr/cm3)	1,887	1,906	1,923	<b>1,939</b>	1,937	-

4.5 Penentuan Kadar Aspal Optimum



Gambar 1 Bar chart karakteristik CAED

Kadar aspal optimum dipilih 7,5%, ditentukan dengan menggunakan *Bar Chart* seperti pada Gambar 1. Nilai kadar aspal optimum ditentukan oleh peneliti dari rentang kadar aspal maksimum dan minimum yang memenuhi spesifikasi.

4.6 Analisis Karakteristik CAED dengan Epoxy sebagai Bahan Tambah

Setelah KARO didapatkan, selanjutnya adalah variasi epoxy dengan KARO. Variasi epoxy dari 1%, 3%, dan 6%. Ringkasan karakteristik CAED dengan kadar epoxy 1%, 3%, dan 6% dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Karakteristik CAED dengan epoxy sebagai bahan tambah

Karakteristik Campuran	Kadar Epoxy (%)			Spesifikasi
	1	3	6	
Stabilitas Rendaman (kg)	1263,33	1416,47	1594,72	Min. 300 kg
Porositas atau VIM (%)	8,57	9,86	17,83	5-10%
Penyerapan Air (%)	2,37	2,65	2,92	Maks. 4%
TFA (µm)	13,56	13,56	13,56	Min. 8 µm
VMA (%)	28,72	29,91	36,35	-
VFB (%)	70,18	67,03	50,94	-
Flow (mm)	5,53	5,13	4,33	-
Density (gr/cm3)	1,928	1,896	1,722	-

Tabel 9 menunjukkan bahwa Stabilitas Rendaman meningkat seiring dengan penambahan epoxy, Stabilitas Rendaman meningkat dari kadar epoxy 1% ke 6% disebabkan oleh efektifnya kadar epoxy sehingga adhesi dari epoxy meningkatkan kestabilan campuran. Namun, seiring penambahan epoxy, workability campuran semakin berkurang, sehingga menyebabkan porositas meningkat, begitu juga dengan density yang mengalami penurunan.

Secara umum penambahan epoxy sebesar 1% dan 3% memenuhi spesifikasi, namun untuk penambahan epoxy 6% tidak memenuhi spesifikasi pada porositas.

4.7 Pengujian Kekakuan (Indirect Tensile Stiffness Modulus-ITSM)

Pengujian ITSM dilakukan pada suhu 20°C dengan pengulangan pembebanan sebanyak 5 kali untuk masing – masing benda uji. Hasil pengujian kekakuan disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10 Pengujian Kekakuan (Stiffness) Campuran CAED

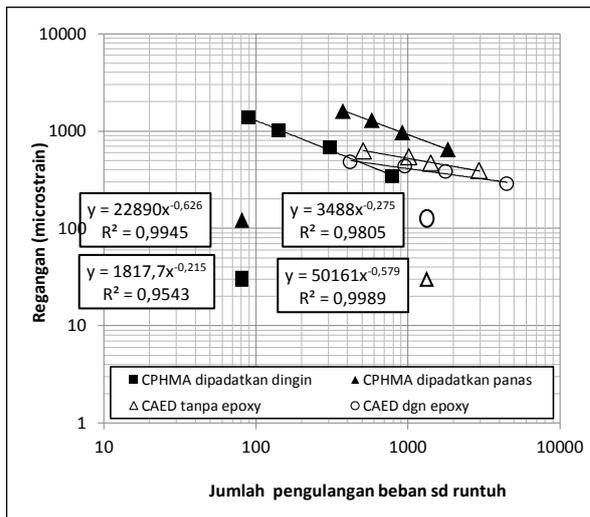
No	Benda Uji	Adjusted ITSM (MPa)
1.	CAED tanpa epoxy	1854
2.	CAED dengan epoxy 3%	959
3.	CPHMA Dipadatkan Suhu Panas (90 °C) atau CPHMA (90 °C)*	320
4.	CPHMA Dipadatkan Suhu Dingin (30 °C) atau CPHMA (30 °C)*	152

\* Sparsa (2017)

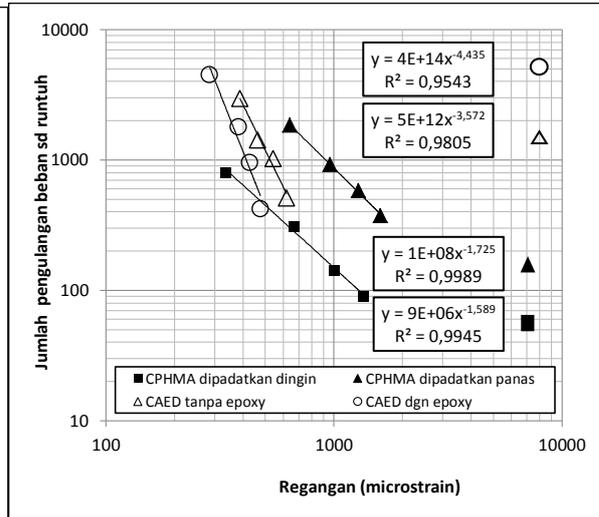
Tabel 10 menunjukkan bahwa CAED tanpa epoxy memiliki nilai Adjusted ITSM sebesar 1854 MPa, CAED dengan epoxy 3% sebesar 959 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa nilai ITSM terbesar adalah CAED tanpa epoxy. Nilai ITSM yang tinggi disebabkan oleh kepadatan yang tinggi dan porositas yang relatif rendah. Sedangkan pada CAED dengan epoxy 3% memiliki nilai kekakuan yang rendah, hal ini dipengaruhi oleh faktor kepadatan yang lebih rendah dan porositas lebih tinggi. Kedua faktor tersebut disebabkan karena workability campuran semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kadar epoxy. Workability yang buruk menyebabkan pemadatan kurang optimal sehingga VIM cukup tinggi dan kepadatan relatif rendah. Dibandingkan dengan Campuran Panas Hambar Dingin (Cold Paving Hot Mix Asbuton-CPHMA), (Sparsa, 2017), CAED memiliki kekakuan jauh lebih tinggi.

4.8 Pengujian Kelelahan (Fatigue)

Pengujian Fatigue dilakukan pada suhu 20 °C. Pada pengujian fatigue digunakan tegangan yang rendah agar pengulangan beban dapat mencapai 100 atau lebih.



Gambar 2 Grafik Hubungan Pengulangan Pembebanan Dengan Regangan



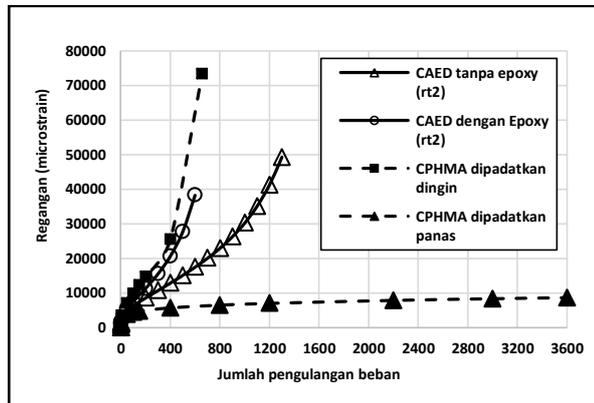
Gambar 3 Grafik Hubungan Regangan Dengan Pengulangan Beban

Gambar 2 menunjukkan apabila garis regresi diperpanjang ke arah sumbu x hingga pembebanan mencapai 10<sup>6</sup> kali, maka didapat regangan yang mampu diterima CAED dengan epoxy 3% sebesar 93,22 microstrain (µε) dan CAED tanpa epoxy sebesar 78,09 µε. CAED dengan epoxy 3% memerlukan jumlah pembebanan yang lebih besar sampai sampel runtuh. Hal ini disebabkan oleh aspal yang ditambahkan epoxy menjadi semakin stabil, menyebabkan campuran lebih kuat terhadap regangan, sehingga campuran tidak mudah retak dan hancur.

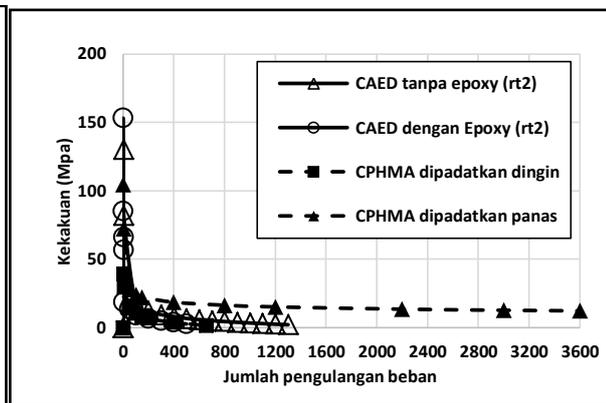
Untuk Gambar 3 menunjukkan apabila garis diperpanjang sampai dengan regangan sebesar 100 µε, maka didapat jumlah pengulangan beban (Nf) CAED dengan epoxy 3% sebesar 539.585 kali dan CAED tanpa epoxy sebesar 358.897 kali. CAED dengan epoxy 3% mampu menahan beban paling banyak, yaitu 539.585 kali pembebanan. Hal ini sejalan dengan ketahanan CAED epoxy 3% dengan regangan, sehingga beban yang dapat diterima sampai campuran runtuh relatif lebih besar. Dibandingkan dengan campuran lain, CPHMA runtuh lebih awal, hal ini dapat dilihat dari kemiringan garisnya yang lebih curam.

#### 4.9 Pengujian Ketahanan Rangkak (Creep)

Pada pengujian rangkak terhadap campuran CPHMA dilakukan penelitian terhadap uji rangkak dinamis (*dynamic creep*) dan kemiringan rangkak dinamis (*dynamic creep slope*). Temperatur pengujian sampel dilakukan pada suhu 40 °C. Pada pengujian ini, CAED dengan dan tanpa *epoxy* runtuh jauh sebelum pengulangan beban ke-3600. Hasil uji rangkak dinamis (*dynamic creep*) disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2 Grafik Regangan Rangkak Dinamis (*Dynamic Creep Strain*)



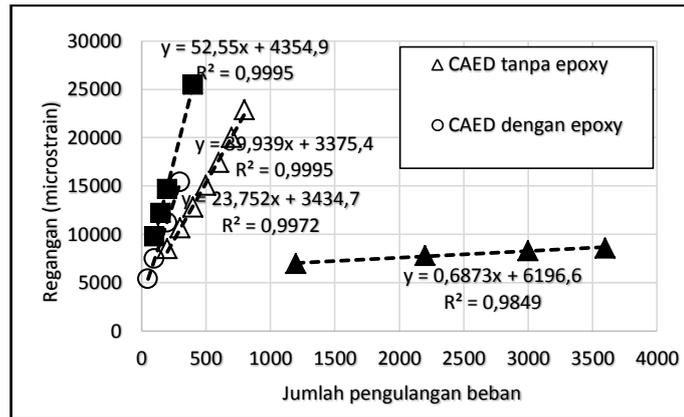
Gambar 3 Grafik Kekakuan Rangkak Dinamis (*Dynamic Creep Stiffness*)

Berdasarkan Gambar 2 CAED dengan *epoxy* 3% memiliki nilai deformasi yang lebih besar jika dibandingkan dengan CAED tanpa *epoxy*. Nilai deformasi yang besar dipengaruhi oleh kepadatan yang relatif lebih kecil dan porositas yang relatif tinggi. Selain hal tersebut, suhu pengujian sebesar 40°C juga mempengaruhi kinerja CAED dengan *epoxy* 3%, karena plastik *epoxy* yang terkandung di dalam campuran akan melembek.

Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai kekakuan rangkak dinamis CAED dengan *epoxy* 3% lebih besar dari CAED tanpa *epoxy*. Hal ini dikarenakan regangan pada CAED dengan *epoxy* 3% lebih kecil dibanding CAED tanpa *epoxy*. Seperti diketahui bahwa Kekakuan (*S*) adalah tegangan dibagi dengan regangan. Semakin besar regangan, semakin kecil kekakuan. Namun, nilai kekakuan CAED dengan *epoxy* dan tanpa *epoxy* tidak terlalu signifikan. Selain itu, walaupun kekakuan rangkak dinamis yang tinggi, CAED dengan *epoxy* memiliki jumlah pengulangan beban yang relatif kecil (600 pengulangan beban). Hal ini disebabkan oleh kepadatan CAED dengan *epoxy* yang relatif kecil dan porositas yang relatif tinggi. Selain hal tersebut, suhu pengujian sebesar 40°C juga mempengaruhi kinerja CAED dengan *epoxy* 3%, karena plastik *epoxy* yang terkandung di dalam campuran akan melembek.

Dibandingkan dengan CPHMA yang dipadatkan panas, CAED dan CPHMA yang dipadatkan dingin mengalami keruntuhan sebelum 3600 pengulangan beban. Hal ini disebabkan oleh tingkat pematatan CPHMA yang dipadatkan panas, relatif lebih baik dibanding campuran yang dipadatkan dingin. Dapat dilihat juga dari kepadatan CPHMA yang dipadatkan panas (2,147 gr/cm<sup>3</sup>) yang lebih besar dari kepadatan campuran lain (CPHMA dipadatkan dingin 2,123 gr/cm<sup>3</sup>; CAED tanpa epoxy 1,939 gr/cm<sup>3</sup>; CAED epoxy 3% 1,896 gr/cm<sup>3</sup>).

Kajian kemiringan rangkak dinamis dilakukan pada jumlah pengulangan yang garisnya mendekati garis lurus, yang tertuang pada Gambar 4. Nilai koefisien variabel *x* adalah kemiringan (*slope*) campuran. *Slope* yang lebih kecil menunjukkan ketahanan deformasi yang lebih baik.



Gambar 4 Kemiringan Rangkaian Dinamis (*Dynamic Creep Slope*)

Gambar 4 menunjukkan bahwa kemiringan rangkaian CAED tanpa *epoxy* lebih kecil dari CAED dengan *epoxy* 3%. Dari persamaan regresi pada Gambar 5.23 diperoleh nilai kemiringan rangkaian untuk CAED tanpa *epoxy* sebesar 23,752 dan CAED dengan *epoxy* sebesar 39,939. Nilai kemiringan rangkaian tersebut tidak dapat diklasifikasikan, karena nilai kemiringan rangkaian terlalu tinggi, dengan standar kemiringan (lalu lintas ringan) >3-6 (suhu 40°C).

Dibandingkan dengan CPHMA yang dipadatkan panas, CAED dan CPHMA yang dipadatkan dingin mengalami keruntuhan sebelum 3600 pengulangan beban dan memiliki kemiringan rangkaian yang relatif tinggi. Hal ini disebabkan oleh tingkat pemadatan CPHMA yang dipadatkan panas, relatif lebih baik dibanding campuran yang dipadatkan dingin.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Sesuai dengan analisis yang dilakukan sesuai dengan tujuan penelitian ini, maka dapat disimpulkan:

1. Karakteristik CAED dengan penambahan *epoxy* 1% dan 3% memenuhi spesifikasi, namun CAED dengan kadar 6% tidak memenuhi spesifikasi karena memiliki porositas 17,83% (spek. 5%-10%). Stabilitas rendaman CAED tanpa dan dengan 3% *epoxy* masing-masing 1177,02 kg dan 1416,47 kg. Penambahan 3 % *epoxy* pada CAED dapat meningkatkan stabilitas hingga 20%.
2. Pada pengujian kekakuan, CAED 0% *epoxy* berbanding CAED 3% *epoxy* memiliki nilai kekakuan 1854 MPa: 959 MPa (-48,27%); Hal ini menunjukkan bahwa nilai kekakuan terbesar adalah CAED tanpa *epoxy*. Nilai kekakuan yang tinggi disebabkan oleh kepadatan yang tinggi dan porositas yang relatif rendah.
3. Pada pengujian deformasi, nilai kemiringan kurva rangkaian 23,752: 39,939 (runtuh sebelum 3600 pengulangan beban). Nilai kemiringan rangkaian tersebut tidak dapat diklasifikasikan, karena nilai kemiringan rangkaian terlalu tinggi, dengan standar kemiringan (lalu lintas ringan) >3-6 (suhu 40°C).
4. Pada pengujian kelelahan, regangan yang mampu ditahan pada pengulangan pembebanan (Nf) 1 juta kali masing-masing sebesar 78,09  $\mu\epsilon$ : 93,22  $\mu\epsilon$  (+19,38%); Nf pada regangan 100  $\mu\epsilon$  sebesar 358.897 kali: 539.585 kali (+50,35%). Hal ini disebabkan oleh aspal yang ditambahkan *epoxy* menjadi semakin stabil, menyebabkan campuran lebih kuat terhadap regangan dan tegangan, sehingga campuran lebih banyak dapat menerima pengulangan beban sampai retak dan hancur.

### 5.2 Saran

Sesuai dengan hasil penelitian, maka dapat dikemukakan saran sebagai berikut:

1. Disarankan untuk mengurangi kadar *hardener* agar *workability* semakin baik dan porositas menurun.
2. Memperhitungkan reaksi kimia dari *epoxy* dengan aspal emulsi untuk analisis yang lebih dalam dan keakuratan analisis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aderson, A. 1995. *Gyropac and Matta Training Course*. Australian: Australian Road Research Board Ltd.  
 Bina Marga. 1991. Spesifikasi Khusus (Supplement Buku 3).

- British Standard Draft for Development. 1993. Method for the Determination of the Indirect Tensile Stiffness Modulus of Bituminous Mixture. DD-213.
- British Standards Institution. 2005. *Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt, Part 25: Cyclic compression test*. BS EN 12697-25:2005.
- British Standards Institution. 2012. *Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt, Part 26: Stiffness*. BS EN 12697-26:2012.
- British Standard Institution. 2012. *Bituminous mixtures-Test methods for hot mix asphalt, Part 24: Resistance to fatigue*. BS EN 12697-24:2012.
- Dinnen, Joe.. 1998. Use of Cold Emulsions in Recycling. *Conference on The Cold Road Ahead*. London 24 March 1998.
- MPW-RI (Ministry of Public Works Republic of Indonesia). 1990. *Paving Specifications Utilizing Bitumen Emulsions*. Jakarta-Indonesia.
- PT. Triasindomix. 2015. Spesifikasi Aspal Emulsi. *Seminar Teknologi Perkerasan Jalan dalam Menjawab Kualitas Perkerasan Jalan di Provinsi Bali*. Denpasar 10 Maret 2015.
- Puslitbang. 2014. *Backup Quality Paket Pemeliharaan Berkala Jembatan Ruas Jalan KM 124 Bon Dalem – Angentelu, Cs*.
- Sparsa, A. A. A. 2017. Analisis Perbandingan Karakteristik Campuran Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA) Yang Dipadatkan Secara Dingin Dan Panas. (Tesis Terpublikasi, Magister Teknik Sipil, Universitas Udayana, 2017).
- Thanaya, I N.A.. 2012. *Teknologi Perkerasan Dan Pemeliharaan Jalan*. Badung: Universitas Udayana.
- Wikipedia. 2015. *Epoxy*. (Serial Online), [cited 16 Nov 2015]. Available from: <https://en.wikipedia.org/wiki/Epoxy>.
- Whitoeak, D.. 1991. *The Shell Bitumen Hand Book*. UK: Shell Bitumen.