

## ANALISIS KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL EMULSI DINGIN (CAED) YANG MEMPERGUNAKAN AGREGAT DARI BEKAS BONGKARAN BANGUNAN

I Nyoman Arya Thanaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Udayana.  
E-mail: aryathanaya@gmail.com

### ABSTRAK

Penerapan teknologi campuran aspal yang ramah lingkungan dan menggunakan material terbarukan perlu terus diupayakan. Selain ramah lingkungan karena tidak memerlukan pemanasan campuran aspal emulsi dingin (CAED) dapat diproduksi menggunakan agregat bekas bongkaran bangunan, yaitu bongkaran beton sebagai agregat kasar, bongkaran tembok bangunan sebagai agregat halus, dan filler dari abu sekam padi. CAED cocok digunakan di daerah beriklim tropis karena akan menunjang proses penguatan CAED akibat penguapan kadar air dalam CAED. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik campuran aspal emulsi dingin (CAED) dengan mempergunakan agregat dari bongkaran bahan bangunan. CAED yang diproduksi menggunakan gradasi rapat dengan aspal emulsi *cationic slow setting*. Proses pembuatan CAED dimulai dari persiapan bahan, estimasi Kadar Aspal Emulsi (KAE) awal, tes penyelimutan (*coating test*), pencampuran dan penentuan enersi pemadatan, dan penentuan Kadar Aspal Resedu Optimum (KARO). Untuk meningkatkan kekuatan CAED diberi tambahan semen 1 dan 2%. Peningkatan kekuatan, sampel dilaksanakan dengan mengkondisikan (*curing*) sampel di dalam ruangan selama 1,2,3,dan 4 minggu, kemudian dilakukan pengujian tiap minggunya terhadap porositas, penyerapan air dan stabilitas rendaman. Berdasarkan hasil uji lab diperoleh KARO 12%. Untuk memenuhi syarat porositas Bina Marga 5-10%, diperlukan enersi pemadatan 2x(2x75) tumbukan marshall yang memberikan porositas sebesar 9,476%. Dimana nilai stabilitas rendaman diperoleh 9,348 KN, stabilitas sisa 85%, penyerapan air 0,845%. Karakteristik ini memenuhi spesifikasi Bina Marga. Untuk sampel yang dicuring 1-4 minggu, dengan dan tanpa semen menunjukkan adanya peningkatan stabilitas. Sampel pada umur satu minggu tanpa semen memiliki stabilitas rendaman 4,732 kN, memenuhi syarat minimal 3 kN.

Kata-kata kunci: aspal emulsi, bongkaran bangunan, porositas, enersi pemadatan, stabilitas.

### 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan terhadap agregat untuk pekerjaan bidang konstruksi teknik sipil semakin meningkat dari waktu ke waktu. Sementara itu upaya untuk mengurangi penggunaan agregat alam semakin digalakkan. Situasi ini memberi dorongan terhadap penggunaan agregat bekas atau agregat dengan kualitas yang lebih rendah untuk industri konstruksi bidang teknik sipil.

Salah satu material alternatif yang bisa digunakan adalah material dari bongkaran bangunan atau perkerasan jalan (Craighill et al. 2006). Sebagai contoh, di Inggris sekitar 17 % dari total bahan bekas yang dibuang, berasal dari industri konstruksi dan hasil pembongkaran bangunan (DoE, 1994). Sebagian dari bahan bekas bongkaran bangunan dipergunakan untuk pekerjaan dengan kualitas rendah seperti bahan urugan dan untuk lapisan dasar jalan akses, dan hanya sekitar 4 % yang dipergunakan sebagai pengganti agregat alam (Humphreys et al., 1994).

Di Indonesia, bahan dari bekas bongkaran bangunan sebagian besar dipergunakan sebagai bahan urugan. Masih terbatas akses informasi dan ketersediaan laporan, tentang penggunaan material ini. Material ini biasanya tidak terdapat dalam jumlah besar. Hanya sewaktu-waktu bisa tersedia dalam jumlah besar, misalnya karena terjadinya bencana alam, seperti gempa bumi, banjir, tsunami, angin puyuh, dan lain-lain.

Pada situasi setelah bencana alam, perlu disediakan alat pemecah agregat yang bisa dipindah-pindah (*mobile/portable*). Hasil pemecahan bahan bongkaran bangunan menjadi ukuran yang kecil-kecil, dapat dipergunakan untuk berbagai keperluan antara lain, untuk bahan urugan dengan kualitas lebih baik, blok dinding bangunan, bahan perkerasan untuk jalan dengan lalu lintas rendah, dan lain-lain. Hal ini dapat dijadikan bagian dari manajemen penanggulangan pasca bencana alam, dengan memberikan pelatihan kepada masyarakat.

Makalah ini menguraikan tentang Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) untuk perkerasan jalan yang menggunakan agregat dari bahan bongkaran bangunan, dengan tujuan untuk mengevaluasi sifat-sifatnya. Percobaan dilaksanakan di Lab Jalan Jurusan Teknik Sipil FT Universitas Udayana, Bali.

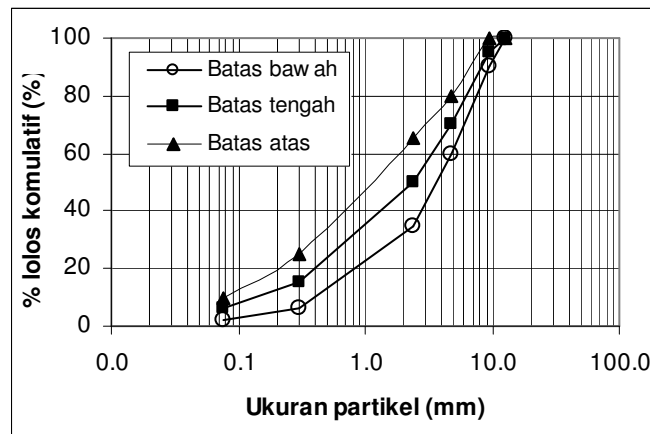
Ada tiga keterbatasan pada CAED yaitu: porositas tinggi, kekuatan lemah pada umur awal, dan memerlukan waktu untuk meningkatkan kekuatan yang tergantung dari penguapan kandungan air.

Akibat hal di atas, keuntungan tentang CAED sering kurang diperhatikan yaitu: sederhana dalam memproduksi/mencampur, cocok untuk lalu lintas rendah sampai sedang, untuk pekerjaan pemeliharaan jalan dalam skala kecil dan lokasinya terpencar-pencar.

## 2. METODE

### Gradasi agregat

Gradasi agregat ditentukan dengan mengikuti gradasi tengah dari Campuran Emulsi Bergradasi Rapat Tipe V sesuai spesifikasi Bina Marga (Dep. PU, 1991). Distribusi ukuran butir (gradasi) partikel agregatnya diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Gradasi agregat campuran aspal emulsi dingin (CAED) bergradasi rapat

### Material yang digunakan

Material yang dipergunakan diambil dari material yang tersedia local berupa beton bekas, dan bahan dinding bekas. Sebagai agregat kasar ( tertahan 2,36mm) dipergunakan pecahan beton bekas. Pecahan bahan dinding dari batako dan tembok bata dipergunakan sebagai agregat halus (lolos 2,36mm tertahan 0,075mm). Sebagai tambahan bahan pengisi (*filler*) dipergunakan abu sekam.

Dengan mengacu pada Gambar 1, agregat kasar yang dipergunakan sejumlah 50%, agregat halus 44% dan filler 6%. Agregat halus dibagi atas dua komponen yaitu 40% beton bekas dan 60% tembok bata bekas (terhadap % agregat halus), atau 17,6% dan 26,4% terhadap berat total agregat.

### Spesifikasi

Spesifikasi yang dipergunakan untuk penelitian ini adalah spesifikasi Departemen PU, Bina Marga (Dep. PU, 1991) dengan sifat campuran seperti disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Campuran Aspal Emulsi Dingin bergradasi Rapat Tipe V

Sifat Campuran	Campuran Tipe V
Kadar aspal efektif	Min 6 %

Tabel 1. (lanjutan)

Sifat Campuran	Campuran Tipe V
Aspal terserap	1.7 %
Aspal resedu total	Min 6.5 %
Aspal emulsi total (%thd berat total campuran)	Min 10.8 %
Stabilitas rendaman	Min 3 kN

	(300 kg)
Stabilitas sisa (% thd stabilitas kering setelah 48 jam perendaman kapiler)	Min 50 %
Porositas	5-10 %
Penyerapan air (% berat total camp)	Maks 4 %
Tebal aspal film	Min 8 micron
Penyelimutan	Min 75 %
Tebal lapis minimum	25-75 mm
Penggunaan	Lapsi pondasi & Lapsi permukaan

## Design CAED

Prosedur desain yang dipergunakan berdasarkan rekomendasi yang dibuat oleh penulis untuk mengatasi ketentuan-ketentuan yang kurang aplikatif dalam menentukan kadar air optimum untuk pemadatan di lapangan dan untuk memastikan porositas campuran padat memenuhi ketentuan. Stabilitas sisa hanya ditentukan pada kadar aspal resedu optimum, yang mengurangi jumlah sample yang harus dibuat (Zoorob and Thanaya, 2002).

## Proporsi agregat

Agregat diproporsikan berdasarkan batas tengah spesifikasi sesuai dengan yang diperlihatkan pada Gambar 1.

## Estimasi kadar aspal emulsi awal

Hal ini, dapat menggunakan cara-cara empiris yang ada, antara lain dengan menggunakan rumus berikut (Depkimpraswil, 2002):

$$P = (0.035 A + 0.045 B + 0.18 C) + K \quad (1)$$

dimana: P = % kadar aspal resedu awal, berdasarkan berat total campuran, A = % agregat kasar (tertahan ayakan no.8 = 2.36mm), B = % agregat halus (lolos ayakan 2.36mm dan tertahan ayakan no. 200=0.075mm), C = % agregat lolos 0.075mm (fraksi filer). K= konstanta = 0,5-1 untuk jenis campuran Laston, dan K= 2-3 untuk Lataston.

Kemudian diestimasi kadar aspal emulsi (KAE) awal:

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

Dimana: P = % kadar aspal resedu awal, X= kadar aspal resedu dari aspal emulsi.

## Test penyelimutan (coating test)

Test ini dilaksanakan dengan menggunakan sekitar 500 gram agregat kering yang sudah diproporsikan sesuai gradasi, kemudian dilembabkan secara merata dengan beberapa variasi kadar air (untuk memudahkan penyelimutan permukaan agregat dengan aspal emulsi) dimana air berperan sebagai 'viscosity reducing agent' (menurunkan kekentalan aspal emulsi).

Setelah itu agregat lembab dicampur dengan aspal emulsi. Pencampuran dapat dilaksanakan dengan mixer atau secara manual dengan waskom dan sendok metal.

Tingkat penyelimutan dipengaruhi oleh tingkat kelembaban agregat. *Kadar air optimum* untuk test ini, diambil pada variasi kadar air terkecil yang memberikan penyelimutan terbaik yang diobservasi secara visual, dimana campuran tidak terlalu encer atau kaku (MPW RI, 1990).

## Penyiapan campuran sebelum dipadatkan

Bila campuran dengan kadar penyelimutan terbaik dan 'workability' yang cukup, ternyata agak encer, maka perlu dianginkan dengan terus mengaduk perlahan sampai campuran cukup longgar (*loose*) dimana tidak ada penggumpalan dan tidak ada tetesan cairan.

## Pemadatan dan Penentuan Enersi Pemadatan

Pemadatan dapat dilaksanakan dengan alat pemadat yang tersedia dengan enersi pemadatan yang bervariasi sampai memberikan kepadatan yang cukup untuk memenuhi syarat porositas. Berdasarkan pengalaman penulis CAED memerlukan enersi pemadatan yang besar (Thanaya, 2003). Untuk itu disarankan langsung memakai pemadatan berat (heavy compaction).

### Curing sampel

Spesimen dicuring (disimpan) dengan dua proses (MPW-RI, 1990):

- Curing A: curing dalam oven (oven curing)

Spesimen di curing di dalam mould dengan akses udara yang sama terhadap kedua sisi specimen (biasanya mould ditudurkan) selama 24 jam, kemudian dikeluarkan dari dalam mould, lalu di oven dengan suhu 40 °C selama 24 jam dan didinginkan pada suhu kamar selama 24 jam juga. Spesimen dari proses curing ini dites untuk memperoleh nilai Stabilitas Kering (Dry Stability).

- Curing B: capillary soaking

Spesimen dari proses curing A di atas, direndam dalam bak yang diberi alas pasir kasar. Spesimen direndam setebal setengah ketinggiannya selama 24 jam, lalu dibalikkan dan direndam lagi selama 24 jam berikutnya (Gambar 8). Di akhir perendaman specimen di keringkan dengan lap dan ditimbang untuk pengujian penyerapan air sesudah perendaman (capillary soaking). Spesimen dari proses curing B, dites untuk mendapatkan 'absorpsi air' dan nilai 'Stabilitas Rendaman' (Soaked Stability).

### Penentuan kepadatan bulk kering (dry bulk density)

Untuk data/sifat ini diperlukan massa dan volume dari specimen. Masa/beratnya dengan mudah dapat ditimbang, namun penentuan volumenya memerlukan ketelitian yang biasanya dilaksanakan dengan penimbangan diudara dan saat seluruhnya berada didalam air.

Bila berat sampel basah = W, maka Kepadatan Bulk basah (D) dihitung sbb:

$$D = \frac{W}{V} \text{ g/cm}^3 \quad (3)$$

Untuk menentukan tingkat pemadatan yang diinginkan (*suitable level of compaction effort*), perlu ditentukan 'kepadatan kering'. Karena sampel masih mengandung kadar air, maka untuk mendapatkan kepadatan kering, maka diambil data berdasarkan kepadatan basah.

Untuk itu *kadar air sampel - pada saat testing* (w%) dari spesimen dites dicari dengan memakai sekitar 500 gram dari specimen basah (masih mengandung kadar air) yang sudah dipecahkan. Nilai w kemudian dipakai untuk menentukan kepadatan kering (dry density-D<sub>d</sub>)sbb:

$$D_d = \frac{(100 + RBC)}{(100 + RBC + w)} \times D \quad (4)$$

Dimana D<sub>d</sub> = kepadatan bulk kering, RBC = residual bitumen content, w = kadar air saat testing, D = bulk density saat testing (masih basah) [Asphalt Institute MS-14, 1989; MPW-RI, 1990].

### Penentuan porositas

Setelah kepadatan bulk kering diperoleh, maka porositas dapat dihitung sbb:

$$\text{Porosity } P (\%) = \left( 1 - \frac{D_d}{SG_{mix}} \right) \times 100\% \quad (5)$$

Dimana SG<sub>mix</sub> dihitung dengan rumus berikut:

$$SG_{mix} = \frac{100}{\frac{\%CA}{SGCA} + \frac{\%FA}{SGFA} + \frac{\%F}{SGF} + \frac{\%Aspal}{SGAspal}}, \text{ berdasarkan berat total campuran} \quad (6)$$

Bila porositas sudah terpenuhi, maka enersi pemadatan ybs. terus dipergunakan. Namun bila porositas belum memenuhi syarat maka enersi pemadatan ditingkatkan lagi.

Selanjutnya parameter lain seperti VMA dan VFB dapat dihitung dengan cara-cara yang tersedia.

### Variasi kadar aspal resedu

Dengan enersi pemadatan yang sesuai, dibuat spesimen dengan beberapa variasi kadar aspal resedu. Biasanya dibuat variasi kadar aspal dengan beda 0.5 % sebanyak dua variasi dibawah dan dua variasi di atas kadar aspal resedu awal. Pada setiap variasi kadar aspal dibuat minimal 3 sampel, kemudian dipilih dua yang terbaik.

### Penentuan kadar aspal resedu optimum (KARO)

KARO ditentukan dengan mengoptimalkan dua parameter yaitu Stabilitas Rendaman dan Kepadatan Bulk Kering. Parameter lain seperti: porositas, penyerapan air, dan tebal film aspal dievaluasi sesuai spesifikasi, dimana pada nilai KARO parameter-parameter tersebut harus memenuhi syarat. Harus dibuat grafik antara semua parameter tersebut terhadap Kadar Aspal Resedu (residual bitumen content).

Untuk memudahkan penentuan KARO, maka perlu dibuat diagram rentang aspal terhadap karakteristik campuran.

### Perhitungan tebal film aspal (bitumen film thickness)

Untuk menentukan Tebal Film Aspal, diperlukan data luas permukaan aggregate (aggregate surface area) yang dapat diperoleh dengan mengalikan antara **prosentase lolos kumulatif masing-masing ayakan** dengan **faktor luas permukaan** (surface area factor) seperti disajikan pada Tabel 2.

Selanjutnya tebal film aspal (TFA) dihitung dengan rumus:

$$TFA = \frac{\% \text{aspal}}{100 - \% \text{aspal}} \times \frac{1}{SG_{\text{aspal}}} \times \frac{1}{\text{AggregateSurfaceArea}} \times 1000 \text{mikron} \quad (7)$$

Tabel 2. Faktor Luas Permukaan (Surface Area Factor-SAF), (Asphalt Institute, MS-14, 1989).

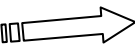
Total % passing sieve No.	Maximum size (all sizes grater than 4.75mm)	4.75 mm (No.4)	2.36 mm (No.8)	1.18 mm (No.16)	600 µm (No.30)	300 µm (No.50)	150 µm (No.100)	75 µm (No.200)	
SAF (m <sup>2</sup> /kg)		0.41	0.41	0.82	1.64	2.87	6.14	12.29	32.77

Catatan: faktor luas permukaan di atas hanya dapat digunakan sesuai ukuran ayakan yang tercantum.

Perhitungan luas permukaan agregat terhadap **suatu gradasi agregat gabungan** dengan kumulatif prosentase lolos masing-masing ayakan, dilakukan seperti tercantum pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabulasi Perhitungan Luas Permukaan Agregat (Asphalt Institute, MS-14, 1989)

Sieve	Percent	Surface Area.	Surface
Inch / No.	mm	Factor	Area (m <sup>2</sup> /kg)
	Passing	x	=

¾ “	19.0	100		0.41	0.41	
3/8 “	9.5	90		0.41	0.31	
No. 4	4.75	75		0.82	0.49	
No. 8	2.36	60		1.64	0.74	
No. 16	1.18	45		2.87	1.00	
No. 30	600 µm	35		6.14	1.54	
No. 50	300 µm	25		12.29	2.21	
No. 100	150 µm	18		32.77	3.28	
No. 200	75 µm	10				
Aggregate Surface Area (ASA) =					9.98 m <sup>2</sup> /kg	

Cara perhitungan luas permukaan agregat di atas adalah cara pendekatan empiris (tidak benar-benar tepat). Sebaiknya dibandingkan dengan metode yang umum dipakai oleh Bina Marga (lihat materi kuliah tentang perencanaan campuran aspal panas).

Bila ukuran ayakan yang dipergunakan berbeda dengan yang tercantum pada Tabel 3, maka *prosentase kumulatif lolos* sesuai dengan standar ayakan dapat diestimasi dari grafik gradasi agregat.

### Penentuan stabilitas sisa (*retained stability*)

Stabilitas sisa adalah rasio antara stabilitas rendaman terhadap stabilitas kering, sesuai prosedur curing pada point 7 diatas. Nilai ini hanya dicari pada kadar aspal resedu optimum (KARO), dengan syarat  $\geq 50\%$ .

### Kekuatan Ultimit CAED

Point ini adalah merupakan tambahan, untuk membandingkan kekuatan ultimit CAED dengan campuran hotmix.

Untuk mendapatkan kekuatan ultimit, sampel CAED di curing dalam oven pada suhu 40 °C sampai seluruh kadar airnya menguap (full curing). Sampel bisa dikatakan dalam kondisi full curing bila beratnya sudah konstan. Untuk mencapai kondisi ini, diperlukan waktu curing yang cukup lama. Penulis alami untuk sample dengan porositas 8-9 %, diperlukan waktu sampai 3 minggu. Pada kondisi ini, 3 sampel di test nilai stabilitasnya setelah direndam dalam air bersuhu 60 °C selama 30 menit, seperti halnya menguji sample hotmix.

Diperlukan juga data absorpsi air CAED pada kondisi full curing. Untuk itu 3 sampel CAED direndam selama 24 jam dalam air pada suhu kamar, kemudian ditentukan penyerapan airnya. Sampel ini kemudian di test stabilitasnya setelah direndam dalam air bersuhu 60 °C selama 30 menit, seperti juga halnya dalam menguji sampel hotmix.

Kemudian dicari Stabilitas Sisa dari sample dalam keadaan full curing, setelah mendapat perlakuan seperti di atas.

## 3. HASIL DAN ANALISIS

### Sifat-sifat material

Sifat-sifat material disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Berat jenis agregat dari bongkaran bangunan

Agregat bekas	Berat jenis		
	Bulk	SSD	App.
Ag. kasar dari pecahan beton: 50%	2,073	2,241	2,493

Table 5. Sifat-sifat lain dari bongkaran bangunan

Sifat	Ag. kasar	Ag. halus	Spec
Abrasi	29,78 %	-	$\leq 40\%$
Penyerapan air	8,133%	6,895%	$\leq 3\%$
Soundness	13,11 %	-	$\leq 12\%$

Ag, halus dari pecahan tembok batako: 17.6%; dan tembok bata: 26.4%	1,958	2,093	2,264
Pengisi ( <i>filler</i> ) dari abu sekam: 6%		2,148	
Resedu aspal		1.02	

Tabel 4 dan 5, memperlihatkan bahwa berat jenis semu (*apparent*) material dari bongkaran bangunan lebih kecil dari 2,5 seperti ditentukan oleh spesifikasi Dep. PU (Dep. PU, 1991). Hal ini tampak realistis karena material ini adalah material dari bahan bekas. Namun sifat abrasi agregat kasar dari pecahan beton memenuhi spesifikasi. Sifat penyerapan air dan *soundness* sebagai indikasi ketahanan terhadap pengaruh kimia melebihi batas spesifikasi.

### Kadar air pelembaban agregat optimum dan tingkat penyelimutan

Kadar air pelembaban agregat optimum 9,5 % untuk memperoleh tingkat penyelimutan yang memuaskan (optimal). Hal ini sejalan dengan sifat penyerapan air material. Tingkat penyelimutan sangat memuaskan, sekitar 95 % berdasarkan observasi visual.

### Tingkat enersi pematatan

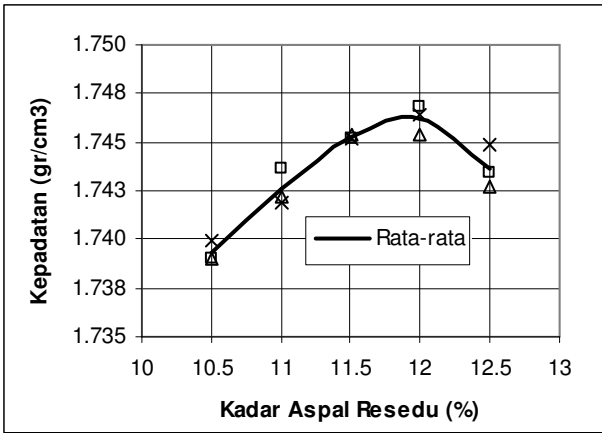
Tingkat enersi yang diperlukan untuk memberikan kepadatan yang memadai, yang kemudian memberikan nilai porositas yang ditentukan (Tabel 1), sebesar dua kali enersi pematatan berat: 2x(2x75) tumbukan Marshall, seperti disajikan Tabel 6. Hal ini sesuai dengan pengalaman penulis sebelumnya (Thanaya, 2003). Hal ini dikarenakan, campuran menjadi semakin kaku akibat pada saat pematatan semakin banyak butiran aspal dalam emulsi menggabung (*break/setting*).

Tabel 6. Stabilitas dan porositas CAED sesuai dengan enersi pematatan (pada kadar aspal resedu optimum 12 %

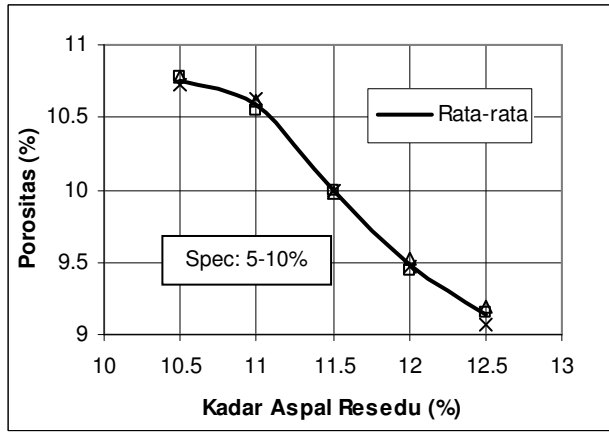
Enersi pematatan (tumbukan Marshall)	Stabilitas rendaman (kN)	Porositas (%)	Spec (%)
2 x 50	6,306	11,013	5 – 10
2 x 75	7,381	10,478	5 – 10
<b>2 x (2 x 75)</b>	<b>9.348</b>	<b>9,277</b>	<b>5 – 10</b>

### Sifat-sifat campuran aspal emulsi dingin (CAED)

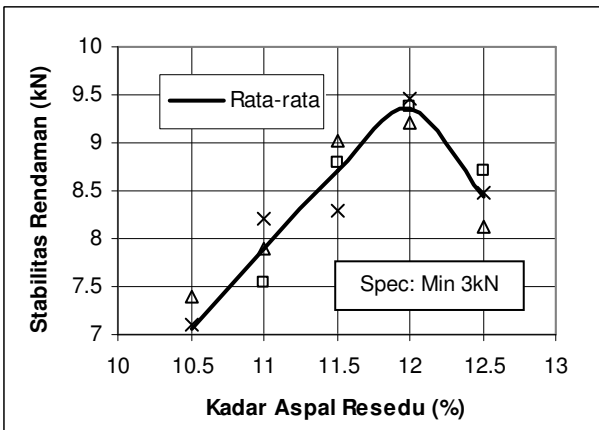
Sifat-sifat CAED disajikan pada Gambar 2 sampai 7, dan Tabel 7. Gambar 7 dan Tabel 7 merangkum data yang ada pada Gambar 2 sampai 6. Diperlihatkan bahwa sifat penyerapan air dan tebal film aspal memenuhi spesifikasi pada semua rentang variasi kadar aspal resedu. Mengacu pada Gambar 4 dan 7, nilai stabilitas rendaman maksimum dan porositas, adalah sifat-sifat pokok yang dipergunakan untuk menentukan kadar aspal resedu optimum (KARO) 12%.



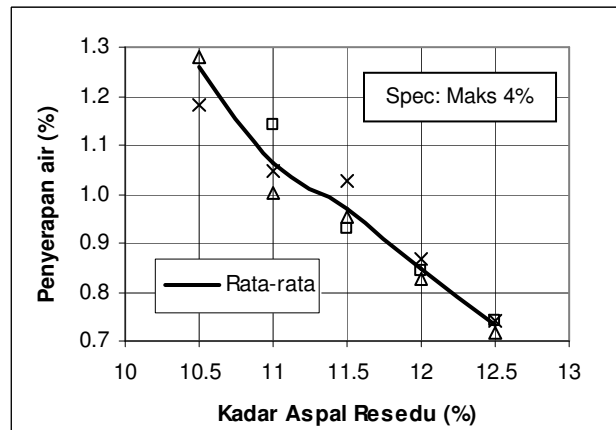
Gambar 2. Kepadatan vs. kadar aspal resedu



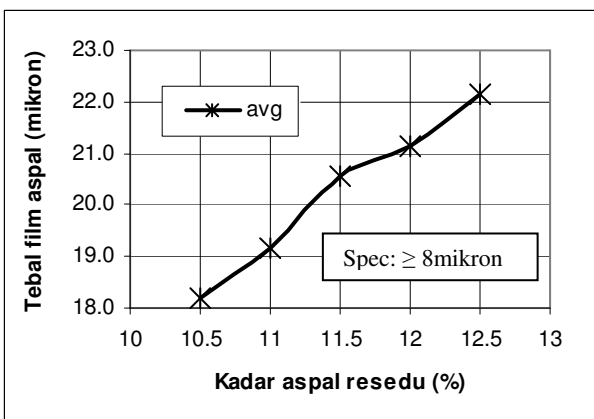
Gambar 3. Porositas vs. kadar aspal resedu



Gambar 4. Stabilitas rendaman vs. kadar aspal resedu



Gambar 5. Penyerapan air vs. kadar aspal resedu



Gambar 2. Tebal film aspal vs. kadar aspal resedu

Sifat	Kadar aspal (%)				
	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5
Porositas					
Stabilitas					
Peny. air					
Tebal film					

Kadar aspal resedu optimum (KARO)

Figure 7. Diagram penentuan kadar aspal resedu optimum (KARO)

Tabel 7. Ringkasan sifat-sifat CAED



Sifat-sifat	Kadar aspal resedu (%)					Spec
	10,5	11	11,5	12	12,5	
Stabilitas rendaman (KN)	7.061	7.854	8.571	<b>9.348</b>	8.440	≥ 3 kN
Porositas (%)	<b>11.030</b>	<b>10.398</b>	9.793	<b>9.277</b>	8.493	5-10%
Penyerapan air (%)	1.259	1.047	0.971	<b>0.845</b>	0.733	Maks 4%
Tebal film aspal (µm)	18.196	19.170	20.540	<b>21.150</b>	22.157	≥ 8 mikron
VMA (%)	29.1	29.4	29.7	<b>30.0</b>	30.5	-
VFB (%)	62.1	64.6	67.0	<b>69.1</b>	70.7	-

Data pada Tabel 7 menunjukkan bahwa, kecuali porositas, parameter lain memenuhi spesifikasi. Walaupun VMA dan VFB tidak disyaratkan dalam CAED, data ini disajikan sebagai tambahan informasi. Secara umum nilai VMA dan VFB CAED yang disajikan berada dalam rentang nilai yang wajar.

Nilai stabilitas sisa (*retain stability*) CAED pada kadar aspal resedu optimum jauh diatas spesifikasi yaitu 50%, seperti disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Stabilitas sisa pada kadar aspal resedu optimum

Stab kering (kN)	Stab rendaman (kN)	Stabilitas sisa (%)	Spec
a	b	b/a x100%	
10.982	9,348	85%	Min 50 %

Table 9. Stabilitas pada kondisi *full curing*

Tumbukan Marshall	Porositas (%)	Stab. pd temp ruang ± 28°C	Stabilitas Pada suhu 60°C
2 x 50	11,013	8,350 KN	3,423 KN
2 x 75	10,478	9,035 KN	4,115 KN
2 x (2 x 75)	9,277	10,216 KN	5,540 KN

Tabel 9 memberikan data stabilitas CAED pada kondisi semua kadar air dalam sample sudah menguap (*full curing*). Data ini menunjukkan bahwa bila CAED bisa mencapai kondisi *full curing*, kekuatan CAED sangat memuaskan, yaitu jauh melebihi 3 kN pada suhu ruang. Pada suhu 60°C, nilai stabilitas CAED melebihi 2 kN, sesuai dengan spesifikasi campuran aspal panas untuk perkerasan jalan dengan lalu lintas rendah (Depkimpraswil, 2002).

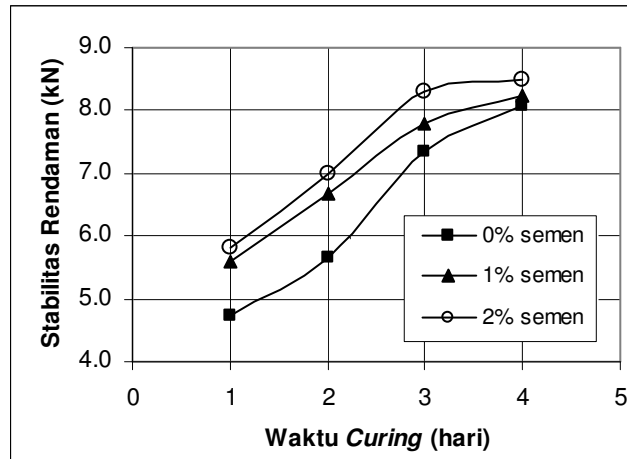
### Peningkatan kekuatan CAED

Bila CAED dikondisikan pada temperature ruangan (28 °C dan 65% kelembaban relatif), dalam waktu kurang dari 1 minggu, sudah memenuhi kekuatan minimum 3 kN seperti disajikan pada Gambar 8. Penambahan Portland semen biasa dapat mempercepat peningkatan kekuatan CAED, terutama pada umur awal dimana CAED masih

mudah mengalami kerusakan. Bila grafik pada Gambar 8, diekstrapolasi ke waktu yang lebih kecil dari 1 minggu, diestimasi stabilitas minimum 3 kN dapat dicapai jauh lebih cepat bila CAED diberi tambahan semen.

Secara umum, kekuatan CAED akan mengalami peningkatan sejalan dengan kecepatan penguapan air dalam campuran. CAED dikenal cocok untuk daerah yang beriklim panas dan diaplikasikan pada musim kemarau.

Gambar 8, juga memperlihatkan, pada umur 4 minggu, sampel tanpa maupun dengan kandungan semen belum mencapai kekuatan maksimal (ultimit) seperti disajikan pada Tabel 9, untuk sampel dengan pemadatan 2x(2x75). Hal ini berarti, sampel masih akan mengalami peningkatan kekuatan.



Gambar 8. Stabilitas rendaman vs. waktu curing

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan diskusi yang sudah disajikan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Berat jenis semu bahan bongkaran bangunan lebih rendah dari 2,5 sesuai spesifikasi Dep. PU RI.
2. Sifat abrasi agregat kasar dari bongkaran beton 29.78%, memenuhi syarat maksimal 40%.
3. Efisiensi pemadatan yang bisa memberikan porositas 5-10% adalah 2x(2x75) tumbukan Marshall.
4. Kadar aspal residu optimum 12%, dimana sifat-sifat CAED memenuhi spesifikasi.
5. Penambahan semen 1-2% dapat meningkatkan kekuatan CAED terutama pada umur awal.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Asphalt Institute. (1989). *Asphalt Cold Mix Manual*. Manual Series No. 14 (MS – 14) , Page 76, Third Edition , Lexington , KY 40512 – 4052 , USA.
- Asphalt Institute. (1997). *The Basic Emulsion Manual*. Manual Series no. 19 (MS-19), 3<sup>rd</sup> Edition, Lexington-USA.
- British Standard BS EN 12697-5. (2002). *Asphalt mixtures, Test methods for hot mix asphalt*. Part 5: Determination of the maximum density.
- British Standard BS EN 12697-6. (2003). *Asphalt mixtures, Test methods for hot mix asphalt*. Part 6: Determination of bulk density of asphalt specimens, 2003.
- British Standard BS EN 12697-8. (2003). *Asphalt mixtures, Test methods for hot mix asphalt*. Part 8: Determination of void characteristics of asphalt specimens, 2003.
- Humphreys, H. and Partners Consulting Engineer. (1994). “Managing Demolition and Construction Wastes”. *Report of the study on the Recycling of Demolition and Construction Wastes in the UK*. Report for the Department of the Environment. HMSO: London.

- Craighill, A., and Powell, J.C. (2006). "A Lifecycle Assessment and Evaluation of Construction and Demolition Waste". *Research Project Report funded by the Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC)-UK, Centre for Social and Economic Research on the Global Environment University of East Anglia and University College London, ISSN 0967-8875.*
- Department of the Environment (DoE). (1994). "Guidelines for Aggregates Provision in England", *Minerals Planning Guidance Note 6*. HMSO, London.
- Departemen Pekerjaan Umum-Depkimpraswil. (2002). *Spesifikasi Campuran Aspal Panas*, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1991). *Spesifikasi Khusus, Buku Suplemen 3*, Jakarta.
- Ministry of Public Works Republic of Indonesia (MPW-RI). (1990). *Paving Specifications Utilizing Asphalt Emulsions*. Jakarta - Indonesia.
- Thanaya I N.A. and Zoorob S.E.. (2002). "Improved Mix Design Procedure For Cold Asphalt Mixes". *Proceedings of 5th Malaysia Road Conference (MRC)*, 7-9 October 2002, Kuala Lumpur.
- Thanaya, I.N.A. (2003). "Improving The Performance of Cold Bituminous Emulsion Mixtures (CBEMs) Incorporating Waste Materials". *PhD Thesis*. School of Civil Engineering, the University of Leeds.
- Thanaya, INA, 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.
- Whiteoak, D. (1991). *The Shell Asphalt Hand Book*. Page 332, Shell Asphalt – Surrey, U.K.
- Zoorob S.E. and Thanaya I N.A. (2002). "Performance of Cold Bituminous Emulsion Mixtures (CBEMs) Incorporating Waste Materials". *Proceedings of 4th European Symposium on Performance of Bituminous and Hydraulic Materials in Pavement, BITMAT4*, Nottingham-UK, 11-12 April 2002.

**KoNTekS 4, UNUD-UAJY-UPH**  
**Sanur, 2-3 Juni 2010**