

ANALISIS KARAKTERISTIK DAN KINERJA CAMPURAN EMULSI BERGRADASI RAPAT (CEBR) MENGGUNAKAN AGREGAT BEKAS BONGKARAN BETON

I Gusti Raka Purbanto, I Nyoman Arya Thanaya, I Made Agus Ariawan,
I Putu Chandra Wibawa

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar

E-mail: rakapurbanto@gmail.com

Abstrak: Salah satu alternatif campuran aspal tanpa proses pemanasan campuran agregat dan aspal adalah Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED). Untuk mengurangi penggunaan agregat alam dipergunakan agregat bekas bongkaran beton dikombinasi dengan agregat alam. Tujuan utama penelitian ini untuk menganalisis karakteristik CAED yang menggunakan material diatas, dengan variasi perbandingan agregat bekas bongkaran beton dan agregat alam 3:1; 3:2; 3:3. Material diproporsikan sesuai gradasi tengah, dilembabkan dengan air, ditambah aspal emulsi, diaduk rata, dianginkan kemudian dipadatkan dengan pemadatan marshall 2 x (2x75). Diperoleh hasil perbandingan agregat bongkaran beton dan agregat alam yang dipilih dan memenuhi spesifikasi campuran agregat 3:2 dengan nilai KARO sebesar 7,5%. Karakteristik campuran pada KARO sudah memenuhi spesifikasi diantaranya: stabilitas rendaman 1087,7 kg; porositas 8,723%; dan penyerapan air 2,698%. Stabilitas rendaman maksimal pada campuran tanpa semen dan dengan semen 2% enam sampai tujuh kali dari nilai spesifikasi min 300 kg. Peningkatan stabilitas rendaman hingga masa *curing* 42 hari pada suhu ruang hampir menyamai stabilitas kekuatan maksimal kondisi *full curing*. Karakteristik campuran dengan masa simpan sebelum dipadatkan sampai 96 jam masih memenuhi spesifikasi stabilitas rendaman, porositas, dan penyerapan air. Campuran dengan semen 2% pada kondisi *full curing*, memberi nilai *cantabro* lebih tinggi dari campuran tanpa semen sebesar 14,452% dan juga memberi nilai kuat tarik tidak langsung lebih besar yaitu 257,0 kPa.

Kata kunci: CAED, KARO, agregat bekas bongkaran beton

ANALYSIS OF CHARACTERISTIC AND PERFORMANCE OF DENSE GRADED EMULSION MIXTURES (DGEM) USING WASTE AGGREGATE FROM CONCRETE DEMOLITION

Abstract: One alternative of asphalt mixtures without heating process of aggregate and asphalt is Cold Asphalt Emulsion Mixture (CAEM). For reducing the use of natural aggregates it was used aggregate from concrete demolition in combination with natural aggregate. The main objectives of this research is to analyze the characteristic of CAEM incorporating the materials mentions above, with variation of waste aggregate from concrete demolition to natural aggregate: 3:1; 3:2; 3:3. Materials were proportioned according to ideal gradation, dampened with water, added with emulsion, mixed evenly, air dried then compacted 2 x (2x75) marshall compaction. It was obtained that, the ratio of concrete demolition and natural aggregate that was chosen and met specification aggregate mixture 3:2 with the ORBC was 7,5%. The characteristics of mixture at ORBC met specification, among others: soaked stability 1087,7 kg; porosity 8,723%; and water absorbsion 2,698%. The ultimate soaked stability of the mixture without and with 2% cement were six to seven times of the specification min value of 300 kg. The increased of soaked stability after curing period of 42 days is almost equal to the ultimate soaked stability of the full curing condition. The characteristic of mixture after storage time up to 96 hours before compaction still met specification for the soaked stability, porosity, and water absorbsion. The mixture with 2% cement at full curing condition gave higher cantabro value of 14,452% compared to the mixture without cement and also gave higher indirect tensile strength of 257,0 kPa.

Keyword: CAEM, ORBC, waste aggregate from concrete demolition

PENDAHULUAN

Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) merupakan salah satu diantara jenis campuran aspal dingin (*cold mix*) tanpa melalui proses pemanasan pencampuran agregat dan aspal. Berdasarkan gradasi agregat, CAED memiliki dua jenis tipe yaitu: CEBR/DGEM dan OGEM. Kebutuhan agregat dibidang konstruksi perkerasan jalan semakin meningkat seiring dengan pembangunan maupun pemeliharaan jalan. Material agregat dari alam akan sulit diperoleh seiring keterbatasan sumber agregat yang tersedia di alam dan akibat penggunaan agregat alam yang terus menerus digunakan. Salah satu cara mengurangi penggunaan agregat alam yaitu menggunakan material bekas atau material daur ulang sebagai agregat. Beberapa alternatif material bekas dapat digunakan sebagai agregat diantaranya adalah hasil bongkaran beton. Material beton memiliki karakteristik nilai kuat tekan yang tinggi dan tingkat kekakuan yang tinggi. Material beton memiliki karakteristik nilai kuat tekan yang tinggi dan tingkat kekakuan yang tinggi (Mulyono, 2004).

Pada penelitian CAED ini agregat dan *filler* dari material bekas hasil bongkaran beton dibuat untuk Campuran Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR) tipe IV menggunakan proporsi gradasi batas tengah sesuai spesifikasi gradasi CEBR. Nilai karakteristik agregat bekas bongkaran beton belum tentu memenuhi spesifikasi, sehingga agregat bekas bongkaran beton akan dicampur dan diproporsikan dengan agregat alam agar karakteristik campuran memenuhi syarat spesifikas campuran. Pada penelitian CEBR tipe IV menggunakan agregat bekas bongkaran beton perlu diadakan pengujian sifat-sifat material agregat untuk mengetahui karakteristik agregat. Untuk mencari Kadar Aspal Residu Optimum (KARO) perlu menganalisis karakteristik CEBR tipe IV sesuai variasi kadar aspal residu yang direncanakan. Untuk mengetahui kinerja stabilitas kekuatan maksimal CEBR tipe IV kadar air sampel CEBR tipe IV harus menguap hingga berat sampel konstan (*full curing*). Untuk menganalisis kinerja nilai keausan akan dilakukan pengujian *cantabro* dan kinerja nilai kuat tarik tidak langsung akan dilakukan pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS) pada KARO.

Beberapa penelitian sebelumnya, antara lain oleh Andhikatama (2013) mengulas hasil penelitiannya tentang Asphalt Wearing course secara hotmix menggunakan bongkaran beton memberi hasil yang memenuhi spesifikasi. Menurut Radika (2013) penelitian CAED menggunakan agregat dari hasil garukan aspal lama didapat hasil nilai stabilitas rendaman memenuhi spesifikasi CAED dalam kondisi campuran tidak mengandung air (*full curing*) pada sampel tanpa penambahan semen sebesar 21,982 kN dan dengan penambahan semen 2% sebesar 24,009 kN.

Untuk meningkatkan hasil kinerja stabilitas kekuatan, campuran dapat ditambahkan (1%-2%) semen dari total berat agregat. Pada penelitian ini untuk meningkatkan kinerja stabilitas kekuatan CEBR tipe IV akan ditambahkan semen sebanyak 2% dari total berat agregat agar memberikan hasil yang optimal serta menjaga CEBR supaya tidak terlalu kaku, bersifat getas dan mudah retak. CEBR sebelum dipadatkan umumnya memiliki kadar air campuran yang belum menguap sehingga campuran masih belum bersifat kaku dan dapat ditunda pematatannya. Untuk mengetahui masa simpan sebelum dipadatkan campuran akan disimpan dalam tempat tertutup, hal ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik CEBR masa simpan campuran sebelum dipadatkan.

Tujuan penelitian ini, diantaranya menganalisis: karakteristik agregat bekas bongkaran beton, karakteristik campuran pada KARO, kinerja stabilitas kekuatan maksimal dan peningkatan stabilitas kekuatan campuran, karakteristik masa simpan campuran sebelum dipadatkan, kinerja nilai *cantabro* dan kuat tarik tidak langsung campuran.

DATA DAN KINERJA UMUM CAMPURAN ASPAL EMULSI DINGIN

Menurut Asphalt Institute (1989) dan MPWRI (1990) terdapat dua tipe gradasi untuk CAED yaitu OGEM dan DGEM. OGEM merupakan campuran aspal emulsi dingin dengan agregat bergradasi terbuka dan aspal emulsi sebagai bahan pengikat yang dicampur tanpa proses pemanasan. DGEM/CEBR merupakan 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.

CAED merupakan jenis campuran aspal menggunakan aspal emulsi untuk mengikat agregat dan dapat dicampur serta dipadatkan pada suhu ruang tanpa memerlukan proses pemanasan. CAED memerlukan penguapan kandungan air yang ada dalam campuran untuk meningkatkan kekuatan campuran, penguapan kandungan air akan lebih cepat tercapai pada daerah temperatur hangat. Menurut Leech (1994) dalam Thanaya (2002) untuk mempercepat kinerja proses peningkatan kekuatan, CAED dapat ditambahkan zat *aditif* berupa semen (1%-2%) dari berat total agregat.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini pengumpulan, pengolahan, dan analisis data dilakukan dengan mengikuti prinsip rujukan diantaranya, meliputi: SNI, ASTM, AASHTO, BS, dan Asphalt Institute. Pengumpulan data dilakukan menggunakan alat-alat dan bahan yang sudah dipersiapkan dengan langkah-langkah prosedur diantaranya, seperti: pengumpulan data hasil pemeriksaan agregat, hasil pemeriksaan aspal emulsi, hasil pengujian marshall, hasil pengujian *cantabro*, dan hasil pengujian ITS. Setelah data dikumpulkan, selanjutnya dilakukan pengolahan data untuk menemukan hasil dari perhitungan dan dilakukan analisis data.

Proses Pengolahan Material Bongkaran Beton

Proses pengolahan material bongkaran beton menjadi agregat secara umum melalui proses: pengumpulan material, pembersihan material, pemecahan, dan penentuan ukuran butir agregat. Proses pemecahan material bongkaran beton dilakukan dengan cara manual menggunakan palu. Proses penentuan

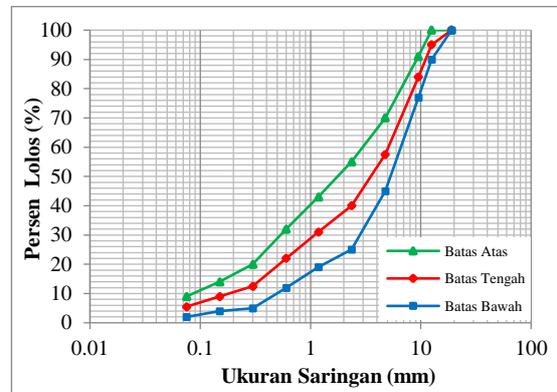
butir agregat dilakukan dengan menggunakan satu set alat saringan standar ASTM. Material bongkaran beton diperoleh dari bongkaran Pasar Badung, Provinsi Bali.

Pemeriksaan Material Bahan Campuran

Pemeriksaan material bahan campuran meliputi pemeriksaan agregat terdiri dari agregat bekas bongkaran beton dan agregat alam serta pemeriksaan aspal emulsi. Agregat alam diperoleh dari PT. Bumi Pasir Mandiri, Provinsi Bali. Aspal emulsi jenis CSS-1h diperoleh dari PT. Triasindomix, Provinsi Bali.

Gradasi Agregat

Gradasi agregat yang digunakan dalam campuran adalah gradasi batas tengah CEBR tipe IV spesifikasi Asphalt Institute (1989). Proporsi agregat dilakukan dengan proporsional sehingga gradasi agregat yang digunakan disesuaikan dengan gradasi. Untuk pekerjaan laboratorium dan memperoleh ketelitian hasil, maka proporsi agregat yang digunakan disesuaikan dengan spesifikasi gradasi sehingga masing-masing ukuran agregat memiliki proporsi agregat dalam campuran seperti grafik Gambar 1 dan Tabel 1.



Gambar 1. Grafik gradasi agregat CEBR tipe IV

Tabel 1. Proporsi agregat rencana CEBR tipe IV

Ukuran Saringan (mm)	Gradasi rencana batas tengah	
	Kumulatif lolos (%)	Proporsi tertahan (%)
19	100	
12,5	95	5
9,5	84	11
4,75	57,5	26,5
2,36	40	17,5
1,18	31	9
0,6	22	9
0,3	12,5	9,5
0,15	9	3,5
0,075	5,5	3,5
Pan	0	5,5
Jumlah		100

Proporsi tertahan agregat 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

Estimasi kadar aspal residu dan kadar aspal emulsi awal bertujuan untuk memperkirakan kadar aspal residu dan kadar aspal emulsi awal sesuai dengan perhitungan yang ditetapkan. Kadar aspal residu diperlukan 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 dilakukan bertujuan untuk mencari kadar air optimum. Kadar air optimum berfungsi untuk menurunkan kekentalan aspal emulsi dan memudahkan penyelimutan permukaan agregat dengan aspal emulsi. Tes penyelimutan dapat dilakukan dengan mengikuti prinsip dan rujukan Asphalt Institute (1989) dan MPWRI (1990). Tes penyelimutan dibuat dengan variasi kadar air yang ditetapkan. Tes penyelimutan dilakukan menggunakan agregat kering yang sudah diproporsikan sesuai gradasi agregat dengan total agregat sebanyak 500 gram. Tes penyelimutan dilakukan pada variasi kadar air

yang ditetapkan, yaitu: 2%, 3%, 4%, 5%, dan 6% dari berat total agregat. Kadar air penyelimutan optimum dipilih dari tes penyelimutan diobservasi secara visual yang memberikan penyelimutan terbaik dengan penilaian campuran tidak terlalu encer akibat kelebihan air atau bersifat kaku akibat kekurangan air.

Pembuatan Sampel CAED Bergradasi CEBR Dan Pengkondisian Sampel Benda Uji

Pembuatan campuran CAED bergradasi CEBR dibuat berdasarkan spesifikasi gradasi CEBR tipe IV dengan memproporsikan bahan utama antara agregat dan aspal emulsi. Pembuatan sampel benda uji dilakukan dengan mengikuti prinsip dan rujukan Asphalt Institute (1989) dan MPWRI (1990). Campuran dibuat ± 1000 gram dari berat total agregat dan aspal residu dari aspal emulsi dengan kadar air penyelimutan yang sudah ditetapkan setelah dilakukan tes penyelimutan. Setelah campuran dibuat, kemudian dilakukan pemadatan sesuai dengan pemadatan yang ditentukan. Setelah pemadatan campuran dilakukan, sampel didiamkan dalam ruang selama ± 24 jam dan selanjutnya sampel dilepas dari cetakan benda uji.

Pengkondisian sampel CAED dilakukan sebelum pengujian Marshall terhadap sampel benda uji, meliputi:

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

Setelah sampel dikeluarkan dalam cetakan, kemudian dikondisikan dalam oven pada suhu 40°C selama ± 24 jam dan kemudian didiamkan dalam ruang selama ± 24 jam.

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

Pengkondisian sampel terendam dalam bak air dilakukan setelah melewati pengkondisian sampel 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. Pada tahap penentuan enersi pemadatan untuk campuran agregat dan aspal dibuat variasi pencampuran agregat dengan perbandingan antara agregat bekas bongkaran beton dan agregat alam, yaitu: campuran 3:1, campuran 3:2, campuran 3:3. Penentuan enersi pemadatan dipilih pada jumlah pemadatan campuran optimal dengan variasi komposisi penggunaan agregat bekas bongkaran beton maksimal.

Penentuan KARO

Penentuan KARO bertujuan untuk menentukan kadar aspal residu yang cukup untuk campuran aspal dengan memenuhi syarat spesifikasi campuran yang ditetapkan. KARO dapat 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.

Kinerja Stabilitas Kekuatan Maksimal Campuran

Stabilitas kekuatan maksimal campuran pada KARO dicari bertujuan untuk mengetahui nilai stabilitas maksimal yang dapat dicapai pada kondisi campuran aspal yang tidak lagi mengandung air (*full curing*) dan dapat dibandingkan dengan kekuatan campuran pada pengujian aspal panas (*hotmix*). Sampel benda uji yang dibuat dalam kondisi *full curing* untuk sampel benda uji tanpa

penambahan semen dan penambahan semen 2% akan diuji dengan pengujian campuran aspal emulsi dingin serta diuji dengan pengujian sesuai prosedur campuran aspal panas.

Kinerja Peningkatan Stabilitas Kekuatan Campuran Dari Umur Awal

Peningkatan stabilitas kekuatan campuran dari umur awal bertujuan untuk mengetahui bagaimana nilai stabilitas kekuatan CAED meningkat dari umur awal hingga umur selanjutnya maupun hingga kondisi *full curing*. Peningkatan stabilitas kekuatan CAED akan terjadi dari umur awal hingga umur selanjutnya karena masih adanya kandungan air dalam campuran, sehingga memerlukan penguapan air sampai kandungan air menguap dan tidak ada lagi pada campuran. Untuk mengetahui peningkatan kekuatan CAED dibuat sampel dengan variasi tanpa penambahan semen dan dengan penambahan semen 2% pada campuran dan variasi lamanya waktu pengondisian (*curing*) sampel dalam suhu ruang. Umur rencana pengondisian sampel dalam suhu ruang ditetapkan dan divariasikan, yaitu: (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 14, 21, 28, 35, dan 42) hari.

Masa Simpan Campuran CAED Sebelum Dipadatkan

Penelitian masa simpan campuran sebelum dipadatkan bertujuan untuk mengetahui lamanya ketahanan campuran ditunda pemadatannya karena campuran aspal masih bersifat plastis dan belum bersifat kaku. Penundaan pemadatan campuran dimaksudkan untuk mempermudah pengerjaan di lapangan karena pencampuran aspal dan agregat dilakukan seperti pada AMP (*Asphalt Mixing Plant*) sehingga membutuhkan waktu ke lokasi pengerjaan konstruksi jalan atau pemeliharaan jalan. Sampel benda uji dibuat variasi waktu masa simpan campuran sebelum dipadatkan, yaitu: (12, 24, 48, 72, dan 96) jam dan sebagai pembanding dibuat sampel tanpa waktu masa simpan. Penyimpanan campuran disimpan dalam kantong plastik dan dibungkus dalam kantong sak semen.

Pengujian Marshall

Pengujian marshall bertujuan untuk mencari nilai stabilitas rendaman atau stabilitas kering dan pelelehan (*flow*). Pengujian marshall sampel benda uji metode campuran aspal emulsi dingin dilakukan dengan mengikuti prinsip dan rujukan Asphalt Institute (1989) dan MPWRI (1990). Sebelum dilakukan pengujian marshall, sampel benda uji dikondisikan (*curing*). Pengujian marshall metode campuran aspal emulsi dingin dilakukan pengondisian sampel benda uji

sebelum uji marshall pada suhu ruang 28°C – 30°C dalam kondisi kering maupun dalam kondisi terendam. Pengujian marshall untuk campuran aspal emulsi dingin dalam kondisi *full curing* dapat dilakukan pengujian metode campuran aspal panas dengan pengondisian sampel benda uji sebelum uji marshall dilakukan pada penangas air suhu 60°C.

Pengujian *Cantabro*

Pengujian *cantabro*/CAL (*Cantabro Abrasion Loss*) bertujuan untuk mengevaluasi campuran beraspal terhadap lepasnya butir agregat dengan aspal dalam campuran akibat menurunnya kelekatan aspal dengan agregat karena pengaruh gesekan berulang. Standar dan spesifikasi pengujian *cantabro* untuk campuran aspal emulsi dingin tidak ada sehingga digunakan pendekatan pengujian *cantabro* pada campuran aspal panas. Pengujian dilakukan dengan mengikuti pendekatan prinsip dan rujukan Hamzah et al, (2010) dan Texas DoT (2014). 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*).

Pengujian ITS

Pengujian ITS (*Indirect Tensile Strength*) bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tarik tidak langsung campuran beraspal. Standar dan spesifikasi pengujian ITS untuk campuran aspal emulsi dingin tidak ada sehingga digunakan pendekatan pengujian ITS pada campuran aspal panas. Pengujian dilakukan dengan mengikuti pendekatan prinsip dan rujukan ASTM (2012). Pengondisian sampel ITS 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*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemeriksaan Agregat

Pemeriksaan agregat dimaksudkan menentukan dan menganalisis karakteristik agregat yang digunakan untuk campuran aspal. Pemeriksaan agregat dilakukan untuk masing-masing agregat yaitu: agregat bekas bongkaran beton dan agregat alam. Spesifikasi syarat agregat Dep. PU BM (2010) tidak diterapkan pada agregat bekas bongkaran beton sedangkan pada

agregat alam diterapkan syarat spesifikasi agregat. Hasil pemeriksaan agregat bekas bongkaran beton dirangkum pada Tabel 2 dan hasil pemeriksaan agregat alam dirangkum pada Tabel 3. Jika spesifikasi syarat agregat diterapkan untuk agregat bekas bongkaran beton, maka karakteristik agregat yang tidak memenuhi spesifikasi, yaitu: penyerapan air agregat kasar, penyerapan air agregat halus, dan keausan agregat kasar. Agregat ala yang digunakan sudah memenuhi spesifikasi syarat agregat.

Hasil Pemeriksaan Aspal Emulsi

Pemeriksaan aspal emulsi dimaksudkan menentukan dan menganalisis karakteristik aspal emulsi yang digunakan untuk campuran aspal. Aspal emulsi yang digunakan adalah aspal emulsi jenis CSS-1h. Pemeriksaan aspal emulsi dilakukan dua kali karena aspal emulsi yang diperoleh dari PT. Triasindomix diambil dua kali pengambilan. Hasil pemeriksaan aspal emulsi pada pengambilan pertama dirangkum pada Tabel 4 dan hasil pemeriksaan aspal emulsi pada pengambilan kedua dirangkum pada Tabel 5. Spesifikasi dan syarat untuk aspal emulsi dirujuk dari BSN (2011). Aspal emulsi yang digunakan sudah memenuhi syarat.

Tabel 2. Karakteristik agregat bekas bongkaran beton

Pemeriksaan	Hasil	Spesifikasi
B. J dan penyerapan agregat kasar		
- B. J <i>bulk</i>	2,078	-
- B. J SSD	2,170	-
- B. J <i>apparent</i>	2,288	-
- Penyerapan air agregat	4,419%	3%
B. J dan penyerapan agregat halus		
- B. J <i>bulk</i>	2,098	-
- B. J SSD	2,187	-
- B. J <i>apparent</i>	2,304	-
- Penyerapan air agregat	4,264	3%
Berat jenis filler	2,196	-
Keausan agregat kasar	40,710%	Maks 40%
Gumpalan lempung		
- Agregat kasar	0,394%	Maks 1%
- Agregat halus	0,267%	
Butir pecah agregat	100/100	Min 95/90
Kadar rongga agregat halus	46,629%	Min 45%
Nilai setara pasir agregat halus	90,259%	Min 50%
Sifat kekekalan agregat		
- Agregat kasar	10,056	Maks 12%
- Agregat halus	8,963%	
Kelekatan agregat terhadap aspal	95,5%	Min 95%
Partikel pipih agregat kasar	6,871%	Maks 10%

Tabel 3. Karakteristik agregat alam

Pemeriksaan	Hasil	Spesifikasi
B. J dan penyerapan agregat kasar		
- B. J <i>bulk</i>	2,478	-
- B. J SSD	2,520	-
- B. J <i>apparent</i>	2,587	-
- Penyerapan air agregat	1,695%	3%
B. J dan penyerapan agregat halus		
- B. J <i>bulk</i>	2,502	-
- B. J SSD	2,539	-
- B. J <i>apparent</i>	2,598	-
- Penyerapan air agregat	1,472%	3%
Berat jenis filler	2,541	-
Keausan agregat kasar	31,090%	Maks 40%
Gumpalan lempung		
- Agregat kasar	0,617%	Maks 1%
- Agregat halus	0,733%	Maks 1%
Butir pecah agregat	99,7/98,7	Min 95/90
Kadar rongga agregat halus	50,808%	Min 45%
Nilai setara pasir agregat halus	88,781%	Min 50%
Sifat kekekalan agregat		
- Agregat kasar	7,823%	Maks 12%
- Agregat halus	6,955%	Maks 12%
Kelekatan agregat terhadap aspal	96%	Min 95%
Partikel pipih agregat kasar	8,874%	Maks 10%

Tabel 4. Karakteristik aspal emulsi pada pengambilan pertama

Pemeriksaan	Hasil	Spesifikasi
Pengendapan/ stabilitas penyimpanan		
- Selama 5 hari	3,372%	Maks 5%
- Selama 1 hari	0,361%	Maks 1%
Aspal emulsi tertahan saringan No.20	0%	Maks 0,1%
Campuran aspal dengan semen	0,198%	Maks 2%
Kadar residu aspal emulsi	59,10%	Min 57%
Berat jenis residu aspal emulsi	1,024	-
Penetrasi residu aspal emulsi	60,55	40-90
Daktilitas residu aspal emulsi	129 cm	Min 40 cm
Titik lembek residu aspal emulsi	44°C	- 3:3

Tabel 5. Karakteristik aspal emulsi pada pengambilan kedua

Pemeriksaan	Hasil	Spesifikasi
Pengendapan/ stabilitas penyimpanan		
- Selama 5 hari	3,478%	Maks 5%
- Selama 1 hari	0,414%	Maks 1%
Aspal emulsi tertahan saringan No.20	0%	Maks 0,1%
Campuran aspal dengan semen	0,249%	Maks 2%
Kadar residu aspal emulsi	59,10%	Min 57%
Berat jenis residu aspal emulsi	1,024	-
Penetrasi residu aspal emulsi	60,45	40-90
Daktilitas residu aspal emulsi	126 cm	Min 40 cm
Titik lembek residu aspal emulsi	43,5°C	- 3:3

Kadar Air Penyelimutan Campuran

Hasil tes penyelimutan dengan penilaian secara visual yang telah dilakukan, ditetapkan bahwa campuran dengan kadar air 5% 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 CEBR tipe IV digunakan kadar air penyelimutan 5%.

Campuran Agregat Dan Enersi Pemadatan Campuran Aspal

Untuk menentukan enersi pemadatan campuran dicoba dengan pemadatan 2 x 75 dan pemadatan 2 x (2 x 75) pada campuran dan dipilih pemadatan yang memenuhi syarat porositas dan stabilitas rendaman spesifikasi CAED. Pada tahap menentukan enersi pemadatan, campuran agregat divariasikan dengan perbandingan campuran agregat bekas bongkaran beton dengan agregat alam, yaitu: campuran 3:1, campuran 3:2, dan campuran 3:3. Hasil nilai porositas dan stabilitas rendaman pada penentuan jumlah pemadatan campuran dan campuran agregat dirangkum pada Tabel 6.

Tabel 6. Rangkuman nilai porositas dan stabilitas rendaman dalam

Variasi campuran agregat dan pemadatan campuran aspal	Porositas	Stabilitas rendaman
Pemadatan 2 x 75 campuran	13,406%	552,9 kg
Pemadatan 2 x 75 campuran	13,141%	521,5 kg
Pemadatan 2 x 75 campuran	12,962%	512,4 kg
Pemadatan 2 (2 x 75) campuran 3:1	10,272%	1210,8 kg
Pemadatan 2 (2 x 75) campuran 3:2	9,110%	1195,8 kg
Pemadatan 2 (2 x 75) campuran 3:3	8,851%	1141,7 kg
Spesifikasi	5%-10%	Min 300 kg

Hasil rangkuman Tabel 6, untuk perhitungan porositas dan stabilitas rendaman terlihat bahwa pemadatan 2 x (2 x 75) pada campuran agregat 3:2 dan campuran agregat 3:3 memenuhi nilai porositas dan stabilitas rendaman. Untuk pemadatan campuran ditetapkan dengan jumlah enersi pemadatan 2 x (2 x 75). Campuran agregat yang digunakan adalah campuran agregat 3:2 pada perbandingan antara campuran agregat bekas bongkaran beton dengan agregat alam, karena memaksimalkan penggunaan agregat bekas

bongkaran beton dengan jumlah pemadatan memenuhi syarat porositas dan stabilitas rendaman. Untuk menentukan KARO dipakai variasi campuran agregat 3:2 dengan enersi pemadatan 2 x (2 x 75).

Karakteristik Campuran Pada Variasi Kadar Aspal Residu Penentuan KARO

Untuk menentukan KARO, maka kadar aspal residu awal 7% divariasikan, yaitu: 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, dan 8%, yang hasil ujiinya disajikan pada Gambar 2. Untuk menentukan KARO perlu diperhitungkan karakteristik sifat campuran yang dianalisis sesuai dengan spesifikasi dan kemudian perlu dibuat diagram barchart untuk memudahkan menentukan KARO

Karakteristik sifat-sifat CAED bergradasi CEBR secara umum, diantaranya: kepadatan kering, stabilitas rendaman, kelelahan, porositas/VIM, rongga antar butir agregat/VMA, rongga udara terisi aspal/VFB, penyerapan air, dan Tebal Film Aspal (TFA). Karakteristik campuran pada variasi kadar aspal residu penentuan KARO dirangkum pada Tabel 7 dan barchart penentuan KARO seperti Gambar 3. KARO ditentukan dengan mengoptimalkan nilai stabilitas rendaman dan kepadatan kering dengan kadar aspal residu yang cukup untuk campuran dan kadar aspal residu 7,5% ditetapkan sebagai KARO.

Karakteristik Campuran Pada KARO

Karakteristik campuran pada KARO sudah memenuhi syarat spesifikasi. Nilai

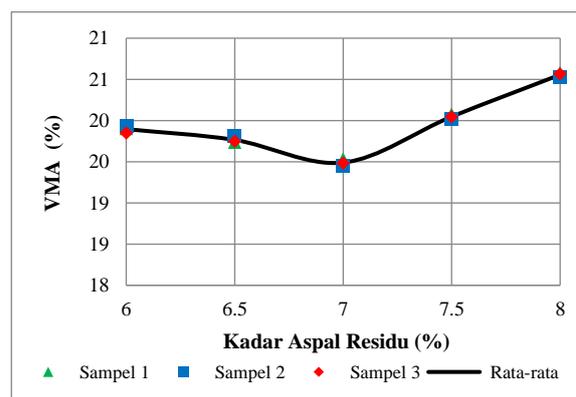
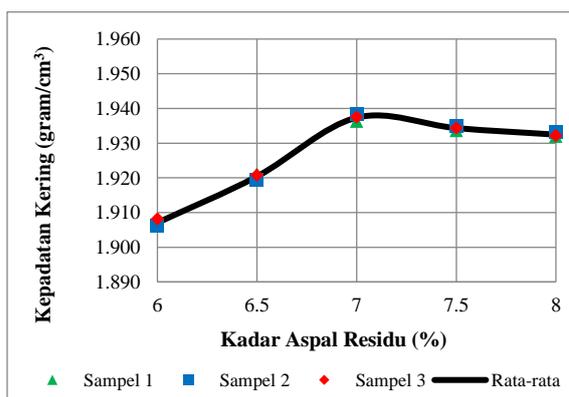
karakteristik pada KARO untuk kadar aspal residu 7,5% dirangkum pada Tabel 7. Pada KARO dicari nilai stabilitas sisa dari rasio antara stabilitas rendaman didapat dari *capillary soaking* dengan stabilitas kering didapat dari *oven curing*. Stabilitas sisa pada KARO didapat sebesar 94,2% dan memenuhi spesifikasi minimal 50% untuk CAED bergradasi CEBR.

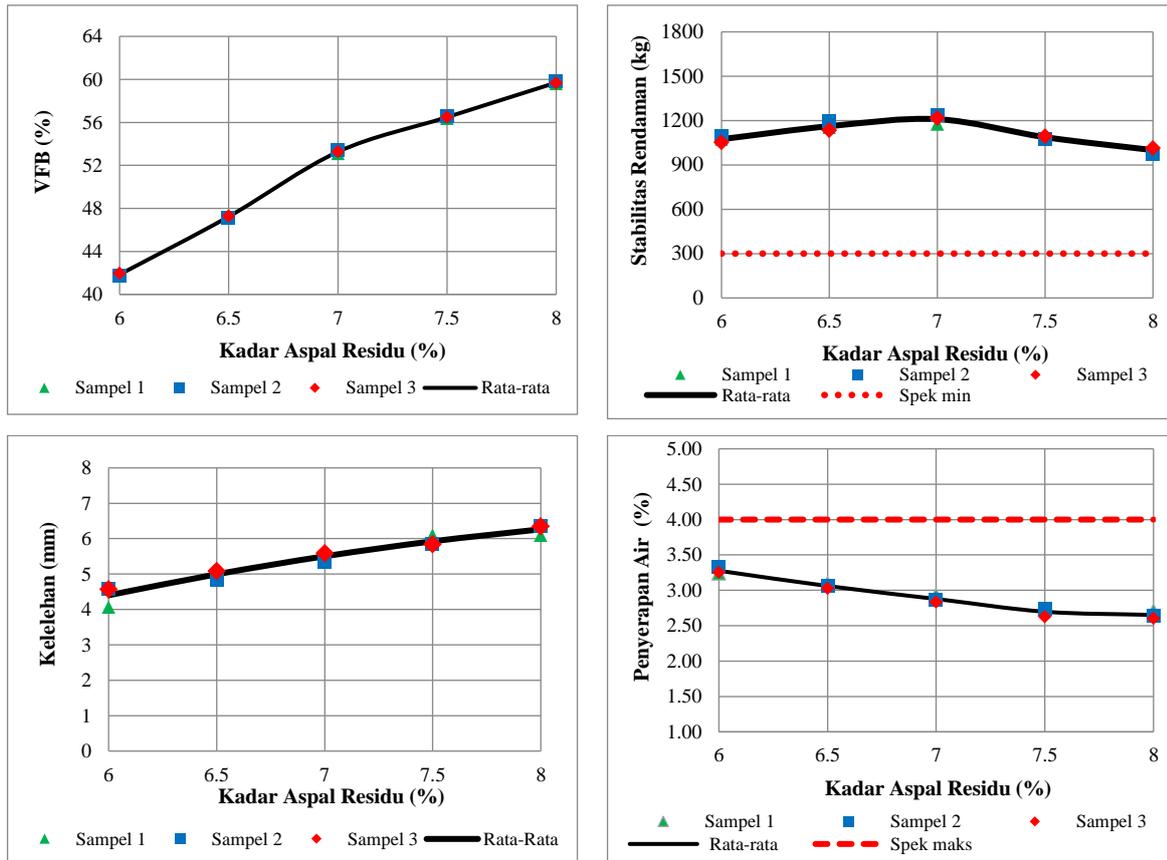
Kinerja Stabilitas Kekuatan Maksimal Campuran

Kinerja stabilitas kekuatan maksimal untuk campuran semen 2% lebih tinggi dari pada sampel tanpa semen. Stabilitas kekuatan maksimal pada CAED diperoleh saat campuran tidak lagi mengandung air (*full curing*). Hasil nilai stabilitas kekuatan maksimal dirangkum pada Tabel 8.

Kinerja Peningkatan Stabilitas Kekuatan

Stabilitas CAED masih lemah diumur awal sehingga dalam proses penguapan air dalam campuran dapat meningkatkan stabilitas kekuatan. Kekuatan CAED pada umur awal belum maksimal karena masih ada kandungan air dalam campuran yang menyebabkan aspal emulsi tidak dapat mengikat agregat secara maksimal. Peningkatan stabilitas kekuatan untuk campuran semen 2% lebih tinggi dari pada tanpa semen pada pengkondisian sampel dalam ruang. Peningkatan stabilitas kekuatan campuran dapat dilihat pada Gambar 4.





Gambar 2. Grafik hubungan kadar aspal dengan karakteristik campuran

Tabel 7 Karakteristik campuran pada variasi kadar aspal residu

Karakteristik campuran	Kadar aspal residu (%)					Spesifikasi campuran
	6	6,5	7	7,5	8	
Kepadatan kering (gr/cm ³)	1,907	1,920	1,937	1,934	1,932	-
Stabilitas rendaman (kg)	1074,2	1161,9	1209,3	1087,7	999,8	Min 300 kg
Kelelehan/flow (mm)	4,403	4,995	5,503	5,927	6,265	-
Porositas (%)	11,570	10,428	9,109	8,723	8,284	5% - 10%
VMA (%)	19,896	19,765	19,490	20,047	20,556	-
VFB (%)	41,847	47,241	53,263	56,490	59,701	-
Penyerapan air (%)	3,277	3,061	2,878	2,698	2,652	Maks 4%
Tebal film aspal (µm)	10,767	11,726	12,696	13,677	14,668	Min 8 µm
Kadar bitumen efektif (%)	4,471	4,979	5,487	5,995	6,503	5,5%
Kadar bitumen terserap (%)	1,627	1,627	1,627	1,627	1,627	1,7%

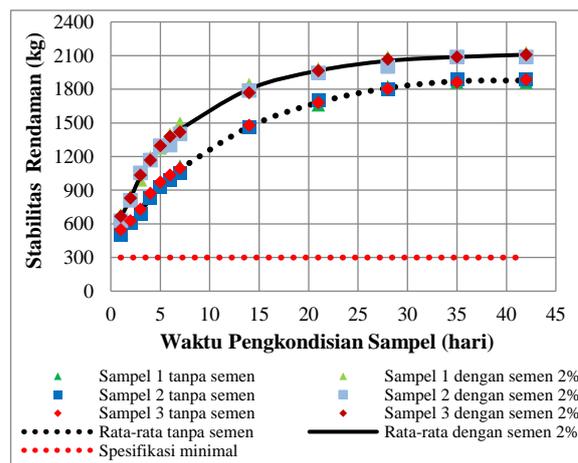
Karakteristik campuran	Kadar aspal residu (%)				
	6	6,5	7	7,5	8
Stabilitas rendaman (kg)	■	■	■	■	■
Porositas (%)	■	■	■	■	■
Penyerapan air (%)	■	■	■	■	■
Tebal film aspal (µm)	■	■	■	■	■
Kadar bitumen efektif (%)	■	■	■	■	■
Kadar bitumen terserap (%)	■	■	■	■	■
				↓	
				KARO	

Keterangan:
 ■ : nilai memenuhi syarat
 □ : nilai tidak memenuhi syarat

Gambar 3. Penentuan KARO pada kadar aspal residu 7,5%

Sampel benda uji	Stabilitas rendaman
- Oven curing 40°C (sampel 0% semen)	1864,6 kg
- Oven curing 40°C (sampel 2% semen)	2087,5 kg
Sampel benda uji	Stabilitas kering
- Capillary soaking (sampel 0% semen)	1932,1 kg
- Capillary soaking (sampel 2% semen)	2161,8 kg
Sampel benda uji	Stabilitas kering
- Pengujian suhu 60°C (sampel 0% semen)	229,7 kg
- Pengujian suhu 60°C (sampel 2% semen)	506,7 kg

Catatan: pengkondisian sampel lebih dijelaskan pada bagian metode penelitian



Gambar 4. Grafik hubungan waktu pengkondisian sampel dengan stabilitas rendaman

Masa Simpan Campuran Sebelum Dipadatkan

Karakteristik masa simpan campuran sebelum dipadatkan masih memenuhi spesifikasi hingga waktu penyimpanan 96 jam. Karakteristik

masa simpan campuran yang memenuhi spesifikasi diantaranya: stabilitas rendaman, porositas, dan penyerapan air. Semakin lama campuran ditunda pematatannya menyebabkan nilai porositas dan penyerapan air meningkat sedangkan nilai stabilitas rendaman mengalami penurunan. Semakin lama campuran disimpan dan ditunda pematatannya menyebabkan campuran semakin bersifat kaku yang dapat menyebabkan kepadatan campuran mengalami penurunan. Karakteristik masa simpan campuran dengan waktu penyimpanan campuran sebelum dipadatkan digambarkan pada grafik Gambar 5.

Pengujian Cantabro Dan ITS

Pengujian *cantabro* dan ITS terbesar didapat pada sampel yang sudah tidak memiliki kandungan air dalam campuran (*full curing*) dengan semen 2%. Hal ini disebabkan karena sampel *full curing* tidak lagi mengandung air dan semen membantu mengikat agregat lebih maksimal. Sampel dalam kondisi *full curing* dengan penambahan semen 2% lebih bersifat kaku dari pada sampel tanpa semen. Untuk sampel *oven curing* campuran lebih bersifat plastis dibandingkan dengan sampel keadaan *full curing*. Hasil pengujian *cantabro* dirangkum pada Tabel 9 dan pengujian ITS dirangkum pada Tabel 10.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Simpulan dari ringkasan hasil penelitian:

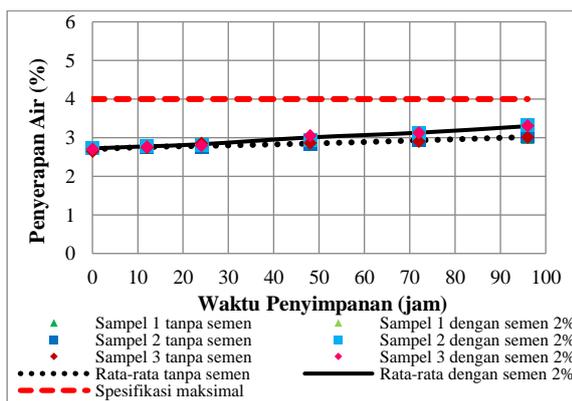
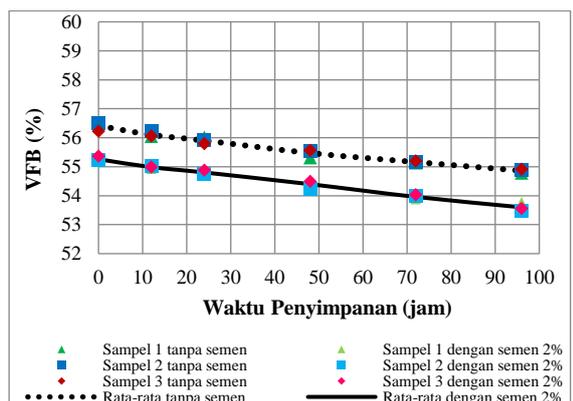
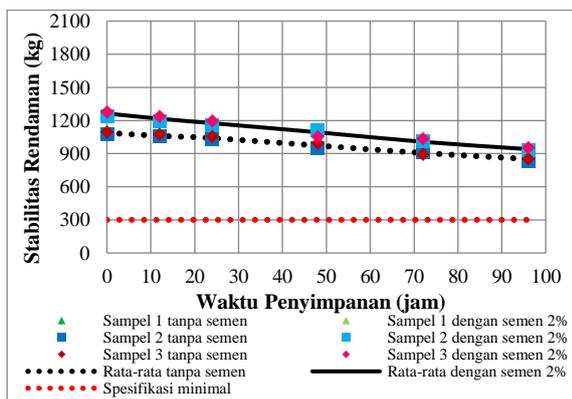
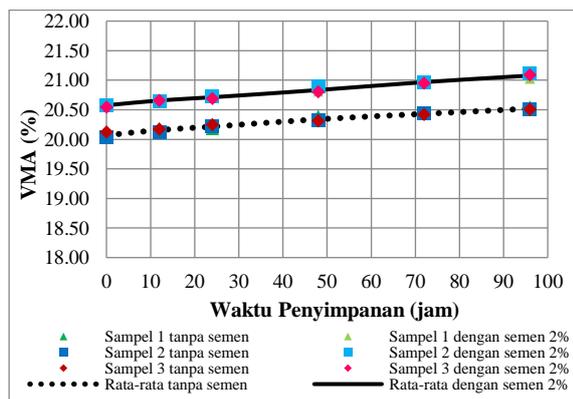
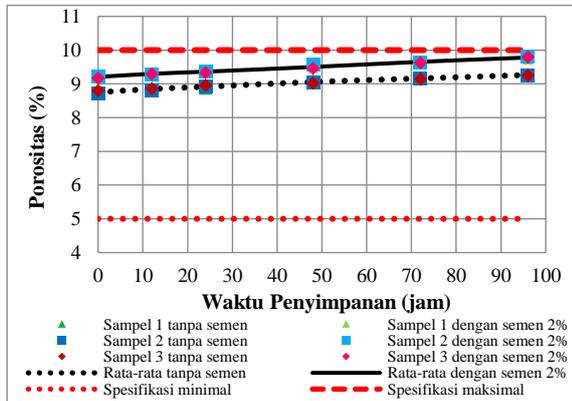
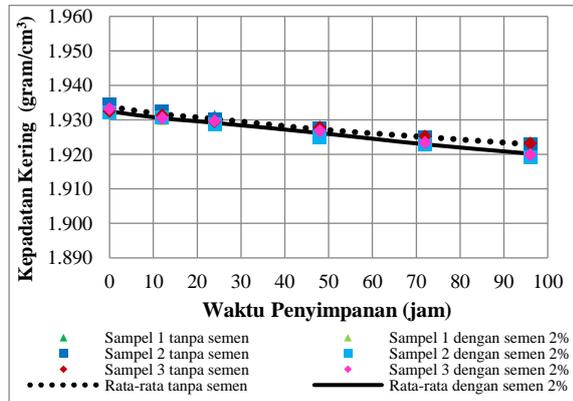
1. Karakteristik agregat bekas bongkaran beton ada yang tidak memenuhi spesifikasi, meliputi: penyerapan air agregat kasar, penyerapan air agregat halus dan keausan agregat kasar sedangkan karakteristik agregat alam sudah memenuhi spesifikasi.
2. Karakteristik campuran pada KARO sudah memenuhi spesifikasi diantaranya meliputi: stabilitas rendaman, porositas, penyerapan air, TFA, kadar bitumen efektif, kadar bitumen terserap, dan stabilitas sisa.

Kinerja stabilitas kekuatan maksimal campuran untuk stabilitas rendaman didapat sekitar enam sampai tujuh kali dari nilai spesifikasi minimal. Kinerja peningkatan stabilitas rendaman kekuatan mengalami peningkatan hingga hari ke 42 hari dengan nilai mendekati stabilitas rendaman kekuatan pada kondisi *full curing*. Karakteristik

campuran diantaranya: stabilitas rendaman, porositas, dan penyerapan air memenuhi spesifikasi CAED hingga waktu penyimpanan 96 hari ditunda pematatannya.

Nilai *cantabro* terbesar didapat pada sampel dengan semen 2% kondisi *full curing* sebesar 14,452% dan nilai ITS terbesar didapat pada sampel dengan

semen 2% kondisi *full curing* sebesar 257,0 kPa. Hasil tertinggi untuk nilai pengujian *cantabro* dan ITS pada sampel dimana campuran tidak mengandung kadar air dan akibat penambahan semen 2%.



Gambar 5 Grafik-grafik hubungan waktu penyimpanan campuran sebelum dipadatkan dengan karakteristik campuran

Tabel 9 Rangkuman nilai *cantabro* pada KARO

Sampel benda uji	<i>Cantabro</i> (%)
- <i>Oven curing</i> (sampel 0% semen)	6,689
- <i>Oven curing</i> (sampel 2% semen)	8,041
- <i>Full curing</i> (sampel 0% semen)	11,816
- <i>Full curing</i> (sampel 2% semen)	14,452

Tabel 10 Rangkuman nilai ITS pada KARO

Sampel benda uji	ITS (kPa)
- <i>Oven curing</i> (sampel 0% semen)	60,8
- <i>Oven curing</i> (sampel 2% semen)	71,9
- <i>Full curing</i> (sampel 0% semen)	164,6
- <i>Full curing</i> (sampel 2% semen)	257,0

Saran

Walaupun campuran agregat bekas bongkaran beton dengan agregat alam yang digunakan yaitu campuran 3:2 dengan pemadatan 2 x (2x75) memberikan hasil optimal memenuhi syarat, namun akan lebih baik proporsi agregat bekas bongkaran beton dibatasi. Misalkan penggunaan agregat dari material bekas bongkaran beton dibatasi maksimal 25% dari berat total agregat, tujuannya agar menjaga mutu kualitas campuran tetap memenuhi syarat .

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terimakasih kepada Para Pimpinan Universitas Udayana yang sudah memfasilitasi Penelitian Unggulan Program Studi, dengan Dana DIPA Unud Tahun Anggaran 2019.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Material (ASTM). 2012. *Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Bituminous Mixtures*. ASTM D 6931-12.
- Andhikatama, A. 2013. *Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course Gradasi Kasar*. (Tugas Akhir dipublikasikan, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana, 2013).
- Asphalt Institute. 1989. *Asphalt Cold Mix Manual*. Manual Series No.14 (MS-14), Third Edition, Lexington, USA.

Badan Standarisasi Nasional (BSN). 2011. *Spesifikasi aspal emulsi kationik*. SNI 4798: 2011.

Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga (Dep PU BM). 2010. *Dokumen Pelelangan Nasional Penyediaan Pekerjaan Konstruksi (Pemborongan) Untuk Kontrak Harga Satuan*, Revisi 3.

Hamzah, M. O., Hasan, M. R. M., Che Wan, C. N., and Abdullah, N .H., A. Comparative Study on Performance of Malaysian Porous Asphalt Mixes Incorporating Conventional and Modified Binders. *Journal of Applied Sciences* 10(20),pp2403-2410,2010.

<http://www.h-a-d.hr/pubfile.php?id=619>,
Accessed on 26/02/2017.

Leech, D. 1994. *Cold Bitumen Materials for se in the Structural Layers of Roads*. Transport Research Laboratory, United Kingdom.

Ministry of Public Works Republic of Indonesia (MPWRI). 1990. *Paving Specification Utilizing Bitumen Emulsion*. Jakarta, Indonesia.

Mulyono,T. 2004. *Teknologi Beton*. Andi, Yogyakarta.

Texas Departement of Transportation (Texas DoT). 2014. *Test Procedure for Cantabro Loss*. TxDOT Designation: Tex-245-F.

Radika, A.P.A. 2013. *Analisis Peningkatan Kekuatan Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) Yang Mempergunakan Agregat Hasil Garukan Aspal Lama Dengan Dan Tanpa Semen*. (Tugas Akhir tidak dipublikasikan, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana, 2013).

Thanaya, I.N.A. 2002. Performance of Cold Bituminous Emulsion Mixtures (CAEMs) Incorporaing Waste Material. *Media Teknik No.4 Tahun XXIV* Edisi November 2002, ISSN 0216-3012, Bali, Indonesia, 2002.