

PENGARUH VARIASI GRADASI AGREGAT DARI BATAS BAWAH HINGGA BATAS TENGAH PADA CAMPURAN ASPAL EMULSI DINGIN

Nico Prayogo¹, Jeffrey Christian Natakusuma², Paravita Sri Wulandari³, Harry Patmadjaja⁴

ABSTRAK : Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) merupakan campuran aspal yang memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan campuran aspal panas. Penggunaan CAED diharapkan dapat menggantikan campuran aspal panas sebagai lapisan permukaan jalan. Penelitian ini bertujuan untuk menguji karakteristik Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) dari gradasi agregat batas tengah hingga batas bawah dengan menggunakan agregat lokal yang berasal dari kota Jember. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini merupakan Campuran Aspal Bergradasi Rapat (CEBR) Tipe IV. Aspal yang digunakan adalah Aspal CSS-1h (*Cationic Slow Setting – 1 hard*) yang diproduksi oleh PT. Bangun Olah Bitumen (BOB) Mojokerto. Benda uji setiap batas gradasi dibuat dengan spesifikasi dan jumlah pemadatan yang identik. Nilai Kadar Aspal Residu Optimum (KARO) pada setiap batas gradasi sebesar 10.1% untuk batas tengah, 10.4% untuk batas rata bawah, dan 9.1% untuk batas bawah. Karakteristik pada setiap batas gradasi agregat dari CEBR Tipe IV memenuhi semua spesifikasi yang telah ditentukan. Nilai stabilitas dan porositas yang digunakan sebagai parameter utama CAED didapatkan nilai secara berturut-turut untuk batas tengah sebesar 422.95 kg, 7.61%; batas rata bawah sebesar 324.03 kg, 8.93%; batas bawah sebesar 423.05 kg, 9.83%.

KATA KUNCI : campuran aspal emulsi dingin, gradasi agregat, karakteristik campuran, agregat lokal

1. PENDAHULUAN

Seiring perkembangan zaman, perkembangan teknologi di dunia teknik sipil pun ikut berkembang. Pada masa kini transportasi bisa dikatakan merupakan kebutuhan pokok setiap orang, baik untuk meningkatkan status sosial maupun menunjang kebutuhan hidup. Transportasi sendiri erat kaitannya dengan jalan. Jalan merupakan salah satu sarana yang digunakan agar kegiatan transportasi (usaha dan kegiatan mengangkut atau membawa barang dan/atau penumpang dari suatu tempat ke tempat lainnya) di darat dapat berlangsung yaitu melalui jalan raya. Bahan pembuatan jalan pada umumnya menggunakan campuran aspal dan agregat sebagai lapisan permukaannya. Aspal digunakan sebagai perekat antar agregatnya untuk pembuatan jalan baru maupun perbaikan jalan. Konstruksi menggunakan aspal panas menyebabkan polusi udara sehingga dilakukan penelitian pengganti aspal panas tersebut untuk mengurangi polusi dengan aspal dingin yaitu aspal emulsi. Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) sendiri mempunyai beberapa keuntungan yaitu aspal emulsi tidak perlu dibakar atau dipanaskan sebab bentuknya sudah cair, dingin, siap pakai, tidak menimbulkan polusi, ramah lingkungan, hemat energi dan waktu, tidak perlu adanya pengontrolan suhu serta dapat menjadi pengganti aspal emulsi panas sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hartanto, et al (2016) sehingga diharapkan dapat menggantikan campuran aspal panas sebagai lapisan permukaan jalan. CAED sendiri apabila dirancang dengan benar dan dengan masa curing yang tepat dapat memiliki kekakuan yang sebanding dengan campuran aspal panas walaupun memiliki tingkat porositas yang

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21415005@john.petra.ac.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21415076@john.petra.ac.id

³ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, paravita@petra.ac.id

⁴ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, harryp@petra.ac.id

tinggi (Thanaya, Maret dan September 2007). Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan karakteristik tiap batas gradasi agregat sehingga dapat menambah informasi dalam penerapan campuran aspal dingin sebagai lapisan permukaan jalan raya.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED)

Aspal emulsi merupakan aspal padat yang dilarutkan kedalam air dengan menggunakan bahan pengemulsi melalui proses teknologi tertentu yang berwarna coklat kehitaman dan encer. Aspal emulsi memiliki sifat yang fleksibel dikarenakan aspal emulsi dapat dicampur dengan agregat dengan menggunakan peralatan kompleks, peralatan sederhana maupun secara manual. Selain itu, aspal emulsi ramah lingkungan, ekonomis dan aman untuk digunakan (*Asphalt Institute*, 1997) karena tidak memerlukan proses pemanasan. *Emulsifier* diperlukan agar terjadi proses emulsi dan bahan ini yang mempengaruhi muatan listrik suatu aspal emulsi.

Terdapat empat macam aspal emulsi yang juga dapat dibedakan berdasarkan waktu *setting* aspal yaitu:

1. Aspal emulsi *Rapid Setting* (RS) : Aspal emulsi yang aspalnya mengikat agregat secara cepat setelah kontak dengan agregat.
2. Aspal emulsi *Medium Setting* (MS) : Aspal emulsi yang aspalnya mengikat agregat secara sedang setelah kontak dengan agregat.
3. Aspal emulsi *Quick Setting* (QS) : Aspal emulsi yang aspalnya mengikat agregat secara lebih cepat setelah kontak dengan agregat.
4. Aspal emulsi *Slow Setting* (SS) : Aspal emulsi yang aspalnya memisah dari air secara lambat setelah kontak dengan agregat.

Penelitian ini menggunakan aspal emulsi yang diambil dari PT. Bangun Olah Bitumen, Mojokerto, Jawa Timur, Indonesia dengan spesifikasi yang disertakan pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Hasil Pengujian Aspal Emulsi PT. Bangun Olah Bitumen

No.	Pemeriksaan	Satuan	Hasil Analisa	Spesifikasi Aspal Emulsi CSS-1h		
				AASHTO M 208-96		
				Min	Max	Metode
I. TEST DARI EMULSI						
1	Viscositas, saybolt furol (25 ⁰ C)	detik	53	20	100	AASHTO T 59-97*
2	Storage stability 24 jam	%	0.34	-		AASHTO T 59-97*
3	Sieve test	%	0.04	-		AASHTO T 59-97*
4	Residu destilasi	%	60.77	57		AASHTO T 59-97*
5	Particle charge test	-	positif	positif	positif	AASHTO T 59-97*
6	Cemen mixing test	%	1.6	-	2	AASHTO T 59-97*
7	Kadar air	%	37.87	-	-	SNI 03-3642-1994
II. TEST RESIDU DARI DESTILASI						
1	Penetrasi 25 ⁰ C, 100 gr, 5 detik	0.1 mm	67.7	40	90	SNI 2456-2011
2	Daktilitas pada suhu 25 ⁰ C, 5 cm/menit	cm	70	40	-	SNI 2456-2012
3	Kelarutan dalam Trychloroethylene	%	98.01	97.5	-	AASHTO T 44-97*

2.2 Agregat

Agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen. Agregat adalah komponen utama dari struktur perkerasan jalan, presentase berat dari agregat mencapai 90-95% dari total berat sedangkan persentase volumenya mencapai 75-85% dari total volume (Sukirman, 1999). Hal ini menunjukkan agregat merupakan bahan yang sangat krusial dan paling menentukan karakteristik dari lapisan perkerasan jalan. Namun sebelum pembuatan campuran aspal maka agregat perlu memenuhi spesifikasi yang berlaku. **Tabel 2** menunjukkan hasil pengujian pemeriksaan agregat yang digunakan untuk membuat CAED sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga.

Tabel 2 Hasil Pengujian Pemeriksaan Agregat

No	Pengujian	Metode Pngujian	Spesifikasi	Hasil Uji
A	Agregat Kasar (5 – 10 mm, 10 – 15 mm)			
1	Berat Jenis <i>bulk</i>	SNI 1969-2008	-	2,51
2	Berat Jenis semu	SNI 1969-2008	-	2,64
3	Penyerapan Air	SNI 1969-2008	-	1,99
4	Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan Natrium Sulfat	SNI 3407-2008	Maks.12%	4,61 %
5	Kekekalan bentuk Agregat terhadap larutan Magnesium Sulfat	SNI 3407-2008	Maks.18%	3,08%
6	Keausan Agregat	SNI 2417-2008	Maks.40%	28,85 %
7	Kelekatan Agregat terhadap Aspal	SNI 03-2439-1991	Min. 95%	95%
8	Partikel Lolos Ayakan No.200	SNI 03-4428-1997	< 1%	0,94 %
B	Agregat Halus (0 – 5 mm)			
1	Berat Jenis <i>bulk</i>	SNI 1969-2008	-	2,69
2	Berat Jenis semu	SNI 1969-2008	-	2,82
3	Penyerapan Air	SNI 1969-2008	-	1,64
4	Partikel Lolos Ayakan No.200	SNI 03-4428-1997	< 8%	7,83 %

Sumber : Spesifikasi Umum Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga (2018)

2.2.1 Campuran Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR)

Gradasi agregat pada CAED ada dua jenis yaitu *Open Graded Emulsion Mixtures* (OGEM) dan *Dense Graded Emulsion Mixtures* (DGEM). OGEM adalah campuran antar agregat dengan gradasi terbuka sedangkan DGEM merupakan campuran antar agregat dengan gradasi rapat. OGEM dan DGEM menggunakan aspal emulsi sebagai bahan pengikat dan proses pencampurannya tanpa melakukan pemanasan. DGEM menjadi pilihan utama dalam penerapan lapisan *sub base*, *base*, permukaan, dan penambalan. Terdapat enam tipe DGEM dimana tipe I digunakan untuk *sub base*, tipe II digunakan untuk *sub base* dan *base*, tipe III digunakan untuk *base* dan lapis aus, tipe IV digunakan untuk *base* dan lapis aus, tipe V digunakan untuk *sand mix* dan lapis aus, dan tipe VI untuk *gap graded*.

2.3 Prosedur Desain CAED

2.3.1 Kadar Aspal Emulsi Awal

Langkah pertama menghitung berapa kadar aspal residu awal, yang menggunakan rumus empiris (*Asphalt Institute*, MS 14, 1989):

$$P = (0.05 A + 0.1 B + 0.5 C) \times 0.7 \quad (2.1)$$

dimana :

P = % kadar aspal residu awal terhadap massa total campuran.

A = % agregat kasar yang tertahan saringan 2.36 mm.

B = % agregat halus yang melewati saringan 2.36 mm dan tertahan pada 0.075mm.

C = % agregat yang melewati 0.075 mm.

Setelah mendapatkan % kadar aspal residu awal dapat dicari Kadar Aspal Emulsi (KAE) awal.

Kadar Residu Aspal (X)

$$\text{KAE awal} = (P / X) \% \quad (2.2)$$

dimana:

X = % kadar residu dari aspal emulsi.

2.3.2 Variasi Kadar Aspal Residu

Berdasarkan nilai porositas (VIM) dan nilai stabilitas *marshall* rendaman yang telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan, maka dibuatlah spesimen dengan bermacam kadar aspal residu (N). Untuk variasi kadar aspal residu dibuat lima variasi, yaitu : N-1%; N-0.5%; N ; N+0.5%; N+1%. Masing-masing kadar aspal residu dibuat tiga spesimen sehingga total membutuhkan 15 buah spesimen untuk variasi kadar aspal residu.

2.3.3 Pengujian Marshall

Pengujian *marshall* dilakukan untuk mengetahui nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*) serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Prosedur pengujian *marshall* mengacu pada SNI 06-2489-1991. Secara garis besar pengujian *marshall* dimulai dari persiapan benda uji, penentuan berat jenis bulk dari benda uji, pemeriksaan nilai stabilitas dan *flow*, dan perhitungan sifat volumetrik benda uji.

2.3.4 Penentuan Kadar Aspal Residu Optimum (KARO)

Kadar aspal residu optimum adalah kadar aspal yang menghasilkan sifat campuran terbaik dengan syarat tiap parameter harus memenuhi spesifikasi yang telah ada. Dari sekian banyak parameter, stabilitas rendaman dan kepadatan bulk kering adalah yang terpenting dalam menentukan KARO.

2.3.5 Penentuan Stabilitas Sisa

Stabilitas sisa adalah rasio antara stabilitas rendaman terhadap stabilitas kering. Nilai ini hanya dicari pada kadar aspal optimum (KARO) dengan syarat $\geq 50\%$ yang tercantum pada Spesifikasi Umum Binamarga (2018 : 6-130).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Pengadaan Material Penelitian

Bahan- bahan yang digunakan untuk membuat CAED adalah:

1. Agregat kasar dan agregat halus yang berasal dari Jember.
2. Aspal emulsi yang digunakan adalah CSS-1h berasal dari PT. Bangun Olah Bitumen (BOB).

3.2 Penentuan Kadar Aspal Residu Optimum (KARO)

1. Variasi kadar aspal N-1%, N-0.5%, N=KAE awal, N+0.5%, N+1% untuk tiap batas.
2. Agregat diproporsikan sesuai dengan hasil dari gradasi campuran yang didapat melalui tes analisa ayakan.
3. Menggunakan kadar air penyelimutan sebesar 2% dan menggunakan aspal sesuai dengan KAE.
4. Campuran aspal dioven dengan suhu 40°C selama 4 jam
5. Campuran di padatkan dengan enersi pemadatan sebesar 2x(2x75).

6. Benda uji didiamkan didalam mold selama 24 jam. Kemudian dimasukkan kedalam oven selama 24 jam dengan suhu $\pm 40^{\circ}\text{C}$.
7. Benda uji didiamkan selama 24 jam di suhu ruang.
8. Benda uji ditimbang dan direndam air dengan ketinggian setengah benda uji secara bergantian selama 2x24 jam.
9. Dilakukan pengujian Marshall pada benda uji untuk mendapatkan nilai stabilitas dan flow dan dilakukan perhitungan parameter Marshall seperti Penyerapan air dan stabilitas Rendaman.

3.3 Metode Pembuatan Benda Uji Tiap Batas Gradasi

Pembuatan sampel untuk Campuran Emulsi Bergradasi Rapat (DGEM) tipe IV untuk tiap batas dilakukan dengan metode yang sama dengan poin 3.2 dengan menggunakan nilai KARO yang di dapat dari tahap 1. **Tabel 3** menunjukkan jumlah sampel yang akan dibuat pada tahap dua untuk menentukan stabilitas rendaman dan kering.

Tabel 3 Jumlah Benda Uji CAED untuk Stabilitas Rendaman dan Kering

No	Tipe Gradasi	Rendaman	Kering
1.	Batas Tengah	3	3
2.	Batas Rata Bawah	3	3
3.	Batas Bawah	3	3
Jumlah		9	9

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Kadar Aspal Residu Optimum (KARO)

Dalam menentukan KARO, penulis menggunakan variasi dari KAE sebesar 10.1% untuk batas tengah, 10.4% untuk batas rata bawah, dan 9.1% untuk batas bawah. Untuk setiap batas dilakukan variasi KAE mulai dari N-1% sampai dengan N+1% dengan interval 0,5%. Tiap variasi kadar aspal dicampur agregat dan diberi kadar air 2% terhadap berat total agregat. Kemudian dipadatkan dengan enersi pemadatan sebesar 2x(2x75). Untuk menentukan nilai KARO dilihat dari nilai stabilitas dan porositas (VIM) sebagai parameter utama dalam campuran aspal emulsi dingin. Ringkasan yang digunakan untuk menentukan nilai KARO dapat dilihat pada **Tabel 4**, **Tabel 5** dan **Tabel 6**.

Tabel 4 Nilai Karakteristik CAED untuk Menentukan KARO Batas Tengah

No.	Karakteristik Campuran	Kadar Aspal Residu (%)					Standar Mutu
		11,6	11,1	10,6	10,1	9,6	
1	Stabilitas Rendaman rata - rata (kg)	419,76	442,48	439,65	574,58	496,31	>300 kg
2	Flow rata - rata (mm)	5,25	5,25	5,25	4,91	4,32	-
3	Porositas (VIM) rata - rata (%)	6,06	6,76	7,68	9,28	8,95	5% - 10%
4	VMA rata - rata (%)	24,18	24,24	23,77	23,92	23,42	-
5	VFB rata - rata (%)	75,03	72,27	67,75	61,21	61,92	-
6	Penyerapan Air (%)	1,89	2,19	1,39	1,54	1,76	Maks. 4%
7	Densitas rata - rata (gr/cm ³)	2,18	2,18	2,16	2,14	2,17	-
8	TFA rata - rata (μm)	20,89	19,43	17,99	16,56	15,15	>8 μm
9	MQ rata - rata (kN/mm)	0,79	0,83	0,82	1,15	1,28	-

Tabel 5 Nilai Karakteristik CAED untuk Menentukan KARO Batas Rata Bawah

No.	Karakteristik Campuran	Kadar Aspal Residu (%)					Standar Mutu
		10,4	9,9	9,4	8,9	8,4	
1	Stabilitas Rendaman rata - rata (kg)	562,14	411,57	408,49	424,95	324,68	>300 kg
2	Flow rata - rata (mm)	6,77	5,00	6,86	6,35	5,08	-
3	Porositas (VIM) rata - rata (%)	9,40	10,78	12,15	12,18	13,23	5% - 10%
4	VMA rata - rata (%)	25,02	25,50	23,80	23,42	22,46	-
5	VFB rata - rata (%)	62,36	57,73	49,04	47,87	41,02	-
6	Penyerapan Air (%)	1,56	1,62	1,54	1,67	1,62	Maks. 4%
7	Densitas rata - rata (gr/cm ³)	2,09	2,08	2,06	2,07	2,06	-
8	TFA rata - rata (µm)	25,91	24,03	22,17	20,33	18,51	>8µm
9	MQ rata - rata (kN/mm)	0,81	0,81	0,58	0,66	0,64	-

Tabel 6 Nilai Karakteristik CAED untuk Menentukan KARO Batas Bawah

No.	Karakteristik Campuran	Kadar Aspal Residu (%)					Standar Mutu
		9,1	8,6	8,1	7,6	7,1	
1	Stabilitas Rendaman rata - rata (kg)	781,74	778,81	579,19	437,13	589,06	>300 kg
2	Flow rata - rata (mm)	6,35	5,59	4,49	4,57	4,83	-
3	Porositas (VIM) rata - rata (%)	9,84	9,75	12,05	15,73	15,18	5% - 10%
4	VMA rata - rata (%)	21,68	21,91	21,14	20,75	20,29	-
5	VFB rata - rata (%)	54,44	55,49	42,92	24,07	24,92	-
6	Penyerapan Air (%)	1,82	1,88	1,94	1,78	1,89	Maks. 4%
7	Densitas rata - rata (gr/cm ³)	2,09	2,10	2,07	1,99	2,02	-
8	TFA rata - rata (µm)	35,19	32,54	29,91	27,31	24,73	>8µm
9	MQ rata - rata (kN/mm)	1,21	1,45	1,33	0,99	1,2	-

KARO yang akan digunakan dipilih berdasarkan dua parameter yaitu stabilitas dan porositas (VIM). KARO dipilih berdasarkan stabilitas yang tertinggi dimana masih memenuhi syarat porositas. Maka dari itu penulis menentukan nilai KARO sebesar 10.1% untuk batas tengah, 10.4% untuk batas rata bawah, dan 9.1% untuk batas bawah. Nilai KARO ini akan digunakan dalam tahap selanjutnya untuk meneliti karakteristik CAED pada gradasi agregat batas tengah hingga batas bawah.

4.2 Karakteristik Masing-Masing Batas

Tabel 7 Nilai Karakteristik CAED untuk Setiap Batas

No.	Karakteristik Campuran	Kadar Aspal Residu (%)			Standar Mutu
		10,1 BT	10,4 BRB	9,1 BB	
1	Stabilitas Rendaman rata - rata (kg)	422,95	324,03	423,05	>300 kg
2	Stabilitas Kering rata - rata (kg)	354,45	463,70	421,01	>300 kg
3	Stabilitas Sisa rata - rata (%)	119,33	69,88	100,48	> 50 %

Tabel 7 (Lanjutan)

4	Flow rata - rata (mm)	5,08	5,08	3,81	-
5	Porositas (VIM) rata - rata (%)	7,61	8,93	9,83	5% - 10%
6	VMA rata - rata (%)	24,21	26,33	25,99	-
7	VFB rata - rata (%)	68,69	65,84	62,13	-
8	Penyerapan Air rata-rata (%)	2,1	1,97	1,51	Maks. 4%
9	Densitas Total (gr/cm ³)	2,22	2,11	2,08	-
10	TFA rata - rata (μ m)	11,40	13,77	13,17	>8 μ m
11	MQ rata - rata (kN/mm)	0,82	0,63	1,09	-

Seperti ditunjukkan dalam **Tabel 7** bahwa pada penelitian ini semua batas gradasi masuk dalam spesifikasi yang ditentukan, namun pada campuran aspal emulsi dingin karakteristik yang dominan untuk diperhatikan adalah stabilitas dan porositas. Pada tahap 2 terdapat adanya penurunan stabilitas dibandingkan dengan tahap 1 yang diakibatkan oleh suhu ruang untuk penyimpanan aspal dan waktu penelitian pada setiap tahap. Dari ketiga batas gradasi yang telah di uji diketahui bahwa stabilitas tertinggi terdapat pada gradasi batas tengah dengan nilai porositas sebesar 7,61% diikuti dengan batas bawah, dan batas rata bawah. Untuk parameter stabilitas pada batas tengah dan batas bawah memiliki nilai yang tidak jauh berbeda namun dari segi penggunaan aspal batas tengah menggunakan lebih banyak kadar aspal dalam campurannya yang membuatnya kurang ekonomis mengingat harga aspal lebih tinggi daripada harga agregat. Pertimbangan penggunaan gradasi batas bawah adalah nilai porositas yang cenderung tinggi dimana nilai porositas yang tinggi dapat dipengaruhi oleh jumlah tumbukan yang terlalu sedikit pada saat pemadatan campuran sehingga menyebabkan rongga di dalam campuran terlalu longgar. Melihat hasil yang sudah didapatkan maka batas gradasi terbaik yang dapat diaplikasikan adalah batas tengah dan batas bawah dengan kelebihan dan kekurangan masing-masing, apabila batas tengah akan diaplikasikan maka harus memperhitungkan penggunaan aspal yang berdampak pada sisi ekonomi dan apabila batas bawah akan diaplikasikan maka harus ada pelaksanaan khusus untuk menjaga porositas masih dalam batas yang telah ditentukan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dengan material agregat dari Jember yang menggunakan Campuran Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR) tipe IV, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan menggunakan agregat lokal yang berasal dari kota jember dihasilkan Kadar aspal residu optimum yang memenuhi spesifikasi CAED untuk batas tengah sebesar 10.1%, batas rata bawah sebesar 10.4%, dan batas bawah sebesar 9.1%.
2. Karakteristik campuran pada setiap batas telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Parameter dominan yang perlu diperhatikan dalam CAED adalah stabilitas dan porositas. Nilai stabilitas tidak memiliki trend pada setiap batas gradasi namun porositas memiliki trend dimana semakin kasar gradasi maka nilai porositas juga akan semakin tinggi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, diharapkan penelitian ini dapat dilanjutkan oleh peneliti lain untuk mengembangkan penelitian ini lebih dalam. Maka, penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Meneliti pengaruh waktu curing setelah dilakukan pemadatan.
2. Dilakukan pengontrolan terhadap suhu ruangan saat melakukan penelitian.
3. Dilakukan penelitian lebih lanjut bagaimana penentuan jenis gradasi yang terpakai di lapangan.

6. DAFTAR REFERENSI

- 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)*, 3rd Edition, Lexington-USA.
- Hartanto, A., Sugiharto, I., Wulandari, P. S., Patmadjaja, H. (2016). *Analisa Karakteristik Campuran Aspal Emulsi Dingin dan Perbandingan Stabilitas Aspal Emulsi Dingin Dengan Laston*. Surabaya: Universitas Kristen Petra.
- SNI 06-2489-1991. (1991). *Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall. Pustran-Balitbang PU*. Jakarta
- Spesifikasi Umum Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga Provinsi Jawa Timur*. (2018). Surabaya, Indonesia: Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga.
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Penerbit Nova, Bandung.
- Thanaya, I N.A. (2007). Evaluating and Improving The Performance Of Cold Asphalt Emulsion Mixes. *Journal of Civil Engineering Science and Application: Civil Engineering Dimension*. Vol. 9, No. 1, Petra Christian University, ISSN 1410-9530, Surabaya, Indonesia.
- Thanaya, I N.A. (2007). Review and Recommendation of Cold Asphalt Emulsion Mixtures (CAEMs) Design. *Journal of Civil Engineering Science and Application: Civil Engineering Dimension*. Vol. 9, No. 1, Petra Christian University, ISSN 1410-9530, Surabaya, Indonesia.