

PENGARUH SERBUK BAN BEKAS SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT HALUS PADA CAMPURAN ASPAL EMULSI DINGIN DENGAN FILLER FLY ASH TIPE-C UNTUK GRADASI DGEM DAN OGEM

Indra Kristanto¹, Aldo Lodi N², Paravita Sri Wulandari³, Harry Patmadjaja⁴

ABSTRAK: Studi tentang Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) pada campuran tipe OGEM masih jarang dilakukan sehingga pengembangannya cukup lambat, walau penggunaan aspal OGEM dapat memanfaatkan agregat lokal sehingga tidak menguras agregat suatu daerah tertentu. Studi ini meneliti performa CAED dengan serbuk ban bekas atau *Crumb Rubber* (CR) sebagai pengganti agregat. Tipe gradasi agregat yang digunakan pada penelitian ini adalah *Open Graded Emulsion Mix* (OGEM) dan *Dense Graded Emulsion Mix* (DGEM) Campuran aspal yang digunakan menggunakan *fly ash* sebagai *filler* sebanyak 2% dengan tujuan untuk membantu pengikatan campuran aspal dengan agregat dan serbuk ban bekas. Ukuran Serbuk ban bekas yang digunakan dalam campuran adalah *mesh 20* dengan alasan ekonomis sebagai pertimbangan. Perbandingan akan dilakukan terhadap besar kadar dari Serbuk ban bekas sebagai pengganti agregat halus yang lolos ayakan No. 8 (2,36mm) sebesar 0%, 25%, dan 50%. Penelitian ini menyimpulkan bahwa dampak dari substitusi agregat halus dengan Serbuk ban bekas membuat campuran aspal menjadi lebih elastis dengan penambahan *Void in Mixture* (VIM) yang meningkat seiring dengan penambahan serbuk ban bekas. Pertambahan dari VIM pada penelitian ini ditemukan bahwa masih memenuhi batas standar spesifikasi.

KATA KUNCI: campuran aspal emulsi dingin, serbuk ban bekas, OGEM, DGEM

1. PENDAHULUAN

Perkembangan pembangunan infrastruktur jalan di Indonesia merupakan salah satu aspek penting sebagai penunjang kelancaran baik sosial maupun ekonomi. Aspek yang sangat perlu diperhatikan dalam pembangunan jalan adalah kualitas dari campuran aspal yang digunakan, baik dari segi campuran maupun metode penerapannya. Hal ini bertujuan agar jalan tersebut dapat berfungsi menjadi media infrastruktur yang optimal, tentunya sesuai dengan umur rencana yang ditentukan. Hal ini yang menjadi alasan Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) adalah campuran aspal yang lebih ramah lingkungan belum maksimal digunakan di Indonesia. CAED apabila dirancang dengan benar dan dengan masa curing yang tepat dapat memiliki kekakuan yang sebanding dengan campuran panas walaupun memiliki tingkat porositas yang tinggi (Thanaya, 2007). Kurangnya penggunaan CAED dikarenakan oleh umurnya terbilang rendah. Hal ini dapat diatasi dengan menambahkan serbuk ban bekas dan fly ash pada campuran. Penggunaan fly ash pada penelitian ini adalah sebagai pengikat antara serbuk ban bekas dan CAED. Sehubungan dengan peningkatan infrastruktur untuk sosial dan ekonomi di Indonesia, alat transportasi yang menggunakan jalan juga meningkat. Sehingga limbah ban bekas menjadi masalah baru yang harus dihadapi. Penelitian yang dilakukan oleh *US Department of*

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, indra.kristanto24@gmail.com

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, aldo.lodianto@gmail.com

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

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

Transportation Federal Highway Administration di Amerika sejak 1986 menggunakan ban bekas sebagai bahan tambahan campuran aspal. Ban bekas sebagai tambahan campuran aspal mampu mereduksi kerusakan pada perkerasan lentur yang diakibatkan oleh faktor cuaca dan lalu lintas (AASHTO, 1982). Pada penelitian ini campuran aspal emulsi dingin ini menggunakan tipe gradasi *open-graded* dan *dense-graded*. Gradasi yang biasa digunakan adalah tipe *dense-graded* karena tipe gradasi ini adalah tipe gradasi yang ideal. Pada saat ini di Indonesia belum banyak menggunakan tipe gradasi *open-graded*. Tipe gradasi *open-graded* ini sendiri sebenarnya sangat penting untuk penggunaan jalan yang rawan slip. Karena tipe gradasi *open-graded* didesain lebih kasar karena memang ditujukan untuk mengurangi kemungkinan kendaraan untuk mengalami slip. Pembuatan CAED menggunakan *fly ash* tipe-C, tipe yang reaktif dan cocok digunakan sebagai binder, dan serbuk ban bekas ukuran *mesh* 20 (0.841 mm) sebagai pengganti agregat halus yang lolos ayakan No.8 (2,36mm) sebesar 0%, 25%, serta 50%, diharapkan seiring dengan penambahan kadar serbuk ban bekas serta *fly ash* dan *curing time* serbuk ban bekas serta *fly ash* dapat meningkatkan nilai stabilitas dan meningkatkan mutu CAED.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Bahan Penyusun Campuran Aspal Emulsi Dingin

Agregat dan aspal adalah bahan dari campuran beraspal. Kualitas campuran beraspal sangat ditentukan oleh mutu agregat dan mutu aspal yang akan digunakan dalam penelitian.

2.1.1. Aspal Emulsi Dingin

Menurut SNI 4798:2011, aspal emulsi adalah aspal berbentuk cair yang dihasilkan dengan cara mendispersikan aspal keras ke dalam air atau sebaliknya dengan bantuan bahan pengemulsi sehingga diperoleh partikel aspal yang bermuatan listrik positif (kationik) atau negatif (anionik) atau tidak bermuatan listrik (nonionik). Aspal emulsi kationik mengikat lambat (CSS) Aspal emulsi bermuatan positif yang aspalnya memisah dari air secara lambat setelah kontak dengan agregat. menjelaskan tentang spesifikasi aspal emulsi. Pada penelitian ini digunakan tipe aspal emulsi kationik mengikat lambat (CSS-1h) untuk memperlambat waktu settingnya. Spesifikasi aspal emulsi dingin dapat dilihat di SNI 4798 : 2011

2.1.2. Agregat

1. *Dense-Graded Emulsion Mix* (DGEM)

Campuran *dense graded* dinilai dari ukuran maksimum turun hingga dan termasuk material yang melewati ayakan No. 200. Campuran ini memiliki variasi tipe agregat, gradasi yang besar dan dapat digunakan sebagai seluruh lapisan dari base hingga tipe perkerasan permukaan, bergantung pada kualitas agregat dan alat. Campuran ini seringkali disebut dengan campuran *well-graded* karena porsi campuran agregat kasar dan agregat halusnya seimbang. menjelaskan tentang spesifikasi agregat yang diperlukan untuk tipe gradasi *dense-graded*. Tipe gradasi DGEM yang dipakai adalah gradasi tipe IV.

2. *Open-Graded Emulsion Mix* (OGEM)

Campuran *open graded* atau sering disebut juga dengan *uniform graded* adalah agregat dengan ukuran hampir sama/sejenis atau mengandung agregat halus yang sedikit jumlahnya sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Campuran ini dengan aspal emulsi digunakan untuk *bases* dan permukaan untuk waktu yang cukup lama. Hal ini disebabkan oleh kesederhanaan alat yang digunakan, dan penghematan dana untuk konstruksi adalah salah satu alasan utamanya. Ciri-cirinya adalah fleksibilitas yang tinggi dan tingkat *void* yang tinggi yang membuat campuran ini cukup tangguh dan tahan dari retak. Tipe gradasi OGEM yang dipakai pada penelitian adalah tipe E/20.

2.2. Serbuk Ban Bekas

Menurut Sugiyanto (2008) penggunaan serbuk ban bekas mampu menahan ketahanan campuran aspal terhadap air, sehingga dapat mengurangi kerusakan jalan. Penambahan serbuk ban bekas juga bisa mengurangi presentase aspal dalam campuran (Wulandari, 2017). Spesifikasi serbuk ban bekas yang digunakan terdapat Pada **Tabel 1**

Tabel 1 Spesifikasi Serbuk Ban Bekas

Raw Material	Crumb for Tyre
Color	Black Homogeneous Granules & Powder
Sieving Rate	Min. 90
Water Content	Max. 0.6
Fiber Content	Max. 0.2
Metal Content	Max. 0.03
Package (Kg/Bag)	25

Sumber : PT. Pura Agung

2.3. Fly Ash

Fly ash, juga dikenal sebagai *Pulverized fuel ash* di Inggris Raya, adalah produk pembakaran batu bara yang terdiri dari partikulat (partikel bahan bakar halus) yang dikeluarkan dari boiler berbahan bakar batubara bersamaan dengan gas buang. Komponen *fly ash* sangat bervariasi, namun semua *fly ash* mencakup sejumlah besar silikon dioksida (SiO₂) (keduanya amorf dan kristal), aluminium oksida (Al₂O₃) dan kalsium oksida (CaO), senyawa mineral utama batu bara. Pada penelitian ini tipe *fly ash* yang digunakan adalah tipe C karena tipe ini adalah tipe yang reaktif, yang bisa digunakan sebagai pengikat (binder) karena kekurangan dari CAED dengan serbuk ban bekas adalah kemampuan pengikatnya, sehingga *fly ash* diharapkan untuk dapat mengatasi kelemahan ini.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Pengumpulan Data

Untuk memperoleh data dalam penelitian ini menggunakan dua jenis metode pengumpulan data, yaitu:

1. Studi Pustaka, untuk mengkaji penelitian – penelitian terdahulu yang sudah pernah dilakukan dan dijadikan sebagai landasan teori dalam penelitian ini.
2. Pada penelitian ini dilakukan pengujian *Marshall*.

3.2. Persiapan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan untuk membuat campuran aspal emulsi adalah:

- Agregat Halus dan Kasar yang digunakan diperoleh dari Laboratorium Perkerasan dan Bahan Jalan UK. PETRA asal Banyuwangi
- Aspal emulsi tipe CSS-1H dari PT. TRIASINDOMIX
- Serbuk ban bekas diperoleh dari PURA RUBBER dari PT. PURA AGUNG (ukuran *mesh* 20)

3.3. Metode Pembuatan Benda Uji

Penelitian ini menganalisa sampel campuran aspal dengan *fly ash* dan serbuk ban bekas dengan Kadar Aspal Residu Optimum (KARO) yang telah ditentukan. Jumlah *filler* dalam CAED biasanya tidak lebih dari 2%, supaya campuran tidak terlalu kaku, yang dapat berakibat mudah retak (Thanaya, 2015). Pada pembuatan sample DGEM, KARO yang digunakan adalah 8%, sedangkan pada pembuatan sample OGEM menggunakan 9%. Kadar serbuk ban bekas yang diteliti adalah 0%, 25%, dan 50% sebagai pengganti agregat halus yang lolos ayakan No.8. kemudian 3 sampel dibuat untuk masing masing kadar serbuk ban bekas. Dan kemudian dilakukan pengujian *Marshall*, masing masing 3 sampel untuk pembacaan test *Marshall* rendaman dan sisa. Sehingga total sampel adalah 36 buah sampel.

4. HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS

4.1. Hasil Pemeriksaan

❖ Analisis Hasil Pemeriksaan Aspal Emulsi

Pemeriksaan dari aspal emulsi CSS1-h yang telah dianalisa oleh PT. Triasindomix dapat dilihat pada **Tabel 2**

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Aspal Emulsi CSS-1h

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi
1	Viskositas	SNI 03-6721-2002	23.275 detik	20-100 detik
2	Pengendapan 1 hari	SNI 03-6828-1994	0.33%	Max 1%
3	Muatan Partikel Listrik	SNI 03-3644-1994	Positif	(+)
4	Tertahan Saringan No. 2	SNI 03-3643-1994	0%	Max 0.1%
5	Kadar Residu	SNI 03-6829-2002	63.46%	Min. 57%
6	Penetrasi 25°C 100gr. 5 detik	SNI 06-2456-1991	51.6	40-90
7	Daktilitas	SNI 06-2432-1991	107cm	Min. 40cm
8	Kelarutan dalam <i>trikoloroetilena</i>	SNI 06-2468-1991	98.99%	Min. 97.5

Sumber: PT. Triasindomix

❖ Analisis Hasil Pemeriksaan Agregat

Pada **Tabel 3** menunjukkan hasil pemeriksaan karakteristik agregat berdasarkan pengetesan dan spesifikasi umum Direktorat Bina Marga 2018.

Tabel 3. Kualifikasi Agregat

No.	Pengujian	Sat.	Metode Pengujian	Spesifikasi	Keterangan
	Analisa Saringan	%	SNI 03-1968-1990	Tabel 4.3 - Tabel 4.6	Lampiran 2
A.	Agregat Kasar (05-10 mm, 10-15mm)				
1	Abrasi dengan Mesin Los Angeles	%	SNI 2417:2008	Maks. 40%	37.35
2	Penyelimutan dan Pengelupasan	%	SNI 2439:2011	Min. 95%	> 95%
3	Partikel Lolos Ayakan No. 200	%	SNI 03-4428-1997	≤ 1%	< 1%
4	Agregat yang tertahan Ayakan 4.75 mm	%	SNI 03-1975-1990	≥ 65%	> 65%
B.	Agregat Halus				
1	Partikel Lolos Ayakan No. 200	%	SNI 03-4428-1997	≤ 8%	< 8%

Sumber : Spesifikasi Umum Direktorat Bina Marga (2018)

❖ Analisis Saringan Agregat DGEM

Tabel 4 menunjukkan hasil pemeriksaan kualifikasi agregat untuk tipe gradasi DGEM yang telah diperoleh dengan cara grafis. Persentase yang telah diperoleh dari grafis harus memenuhi spesifikasi, dan apabila tidak memenuhi spesifikasi maka persentase tersebut harus dimodifikasi. **Tabel 4** menunjukkan pemeriksaan kualifikasi agregat tipe gradasi DGEM dengan menggunakan *Fly Ash* sejumlah 2% dari berat agregat sebagai *filler* dengan persentase F1 sebesar 23%, F2 sebesar 32%, F3 sebesar 43%.

Tabel 4. Analisa Saringan Agregat DGEM (dengan filler fly ash tipe-C)

SARINGAN		F1 (10-15mm)		F2 (05-10mm)		F3 (00-05 mm)		Filler (Fly Ash)		Total %	Spesifikasi
Inch	mm	Lolos %	23%	Lolos %	32%	Lolos %	43%	Lolos %	2%		
3/4	19	100	23	100	32	100	43	100	2	100	100
1/2	12.5	61.58	14	100	32	100	43	100	2	91.16	90-100
No. 4	4.75	1.7	0.39	36.67	11.73	99.43	42.75	100	2	56.88	45-70
No. 8	2.36	1.54	0.35	8.39	2.68	82.3	35.39	100	2	40.43	25-55
No. 50	0.3	0	0	4.87	1.56	26.82	11.53	100	2	15.09	5-20
No. 200	0.08	0	0	3.4	1.09	11.18	4.81	100	2	7.90	2-9

❖ **Analisis Saringan Agregat OGEM**

Sama seperti analisa saringan agregat DGEM, pada **Tabel 5** menunjukkan pemeriksaan kualifikasi agregat untuk tipe gradasi OGEM yang telah diperoleh dengan cara grafis. Persentase yang telah diperoleh dari grafis harus memenuhi spesifikasi, dan apabila tidak memenuhi spesifikasi maka persentase tersebut harus dimodifikasi. Pada **Tabel 5** menunjukkan pemeriksaan kualifikasi agregat tipe gradasi OGEM dengan menggunakan *fly ash* tipe-C sejumlah 2% dari berat agregat sebagai *filler fly ash* tipe-C dengan persentase F1 sebesar 68%, F2 sebesar 24%, dan F3 sebesar 8% telah memenuhi spesifikasi.

Tabel 5. Analisa Saringan Agregat OGEM (dengan *filler fly ash* tipe-C)

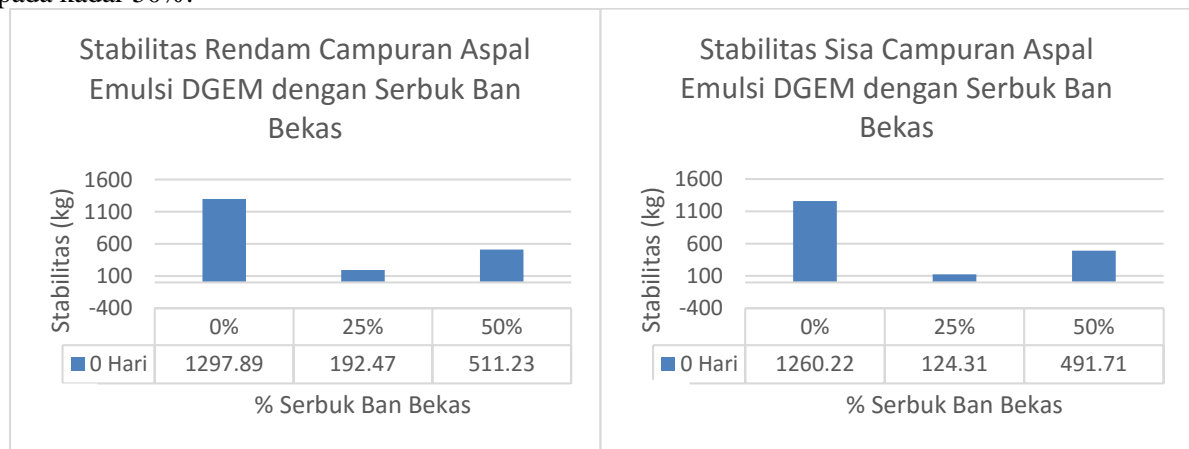
SARINGAN		F1 (10-15mm)		F2 (05-10mm)		F3 (00-05 mm)		Filler (Fly Ash)		Total %	Spesifikasi
Inch	mm	Lolos %	68%	Lolos %	24%	Lolos %	6%	Lolos %	2%		
1	25.4	100	68	100	24	100	6	100	2	100	100
3/4	19	100	68	100	24	100	6	100	2	100	95-100
3/8	9.5	17.8	12.10	100	24	100	6	100	2	44.10	20-55
No. 8	2.36	1	1	6.98	1.68	81.82	4.91	100	2	9.26	0-10
No. 200	0.075	0	0	0	0	0	0	100	2	2	0-2

4.2 Pengaruh Fly Ash dan Serbuk Ban Bekas

Pada sampel yang telah dibuat, perbedaan dari sampel yang menggunakan *fly ash* dan tanpa serbuk ban bekas dengan sampel yang menggunakan terletak pada penampilan campurannya yang dapat dilihat secara visual. Penambahan serbuk ban bekas membuat campuran terlihat lebih bervolume dan teksturnya lebih halus. Pada benda uji tipe gradasi DGEM dengan variasi kadar serbuk ban bekas sebagai pengganti sebesar baik 25% maupun 50% dari agregat halus yang lolos ayakan No. 8, sampel terpadatkan dengan baik dan permukaan sampel terlihat rata. Sedangkan benda uji tipe gradasi OGEM dengan variasi kadar serbuk ban bekas sebesar 25%, dan 50% sebagai pengganti dari agregat halus yang lolos ayakan No. 8, sampel tidak terpadatkan dengan baik. Permukaan sampel sangatlah kasar karena persentase agregat halusnya sangat sedikit, meskipun telah ditambah dengan serbuk ban bekas.

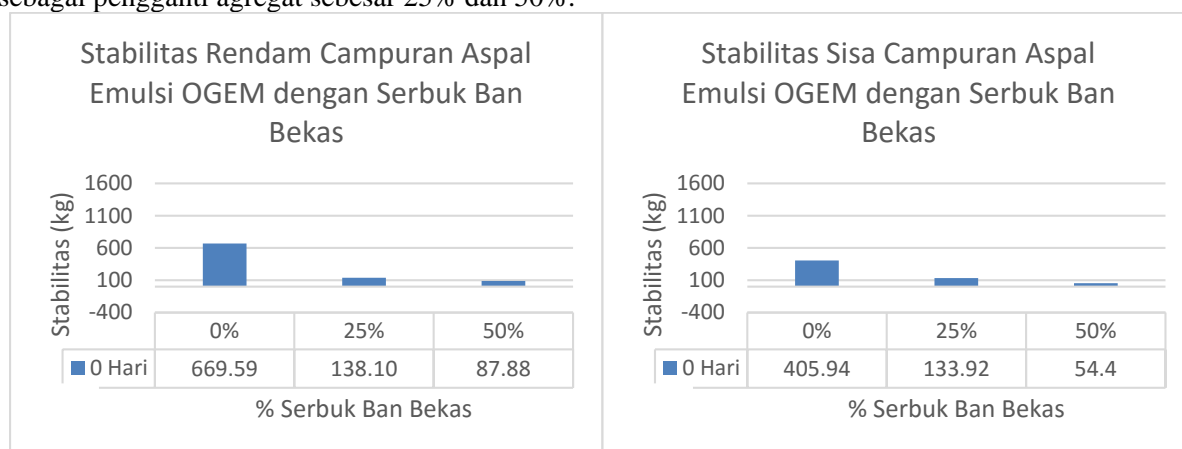
❖ **Stabilitas Rendam dan Stabilitas Sisa Campuran DGEM dengan OGEM**

Pada **Gambar 1a** menunjukkan dengan peningkatan kadar serbuk ban bekas sebagai pengganti agregat pada campuran aspal emulsi DGEM juga mempengaruhi stabilitas rendam dimana semakin tinggi kadar dari serbuk ban bekas semakin menurun stabilitasnya. Pengaruh dari kenaikan kadar serbuk ban bekas sebagai pengganti agregat terhadap stabilitas sisa dapat terlihat melalui **Gambar 1b** dimana stabilitas sisa dari campuran aspal juga mengalami penurunan. Stabilitas rendam maupun sisa mengalami penurunan pada kadar serbuk ban bekas sebagai pengganti agregat sebesar 25%, namun ada kenaikan pada kadar 50%.



Gambar 1. Hubungan Antara Kadar Serbuk Ban Bekas dengan Stabilitas Rendam (a) dan Stabilitas Sisa (b) Pada Sampel DGEM

Pada **Gambar 2a** terlihat jelas bahwa stabilitas rendam masih mengalami penurunan seiring dengan pertambahan kadar serbuk ban bekas sebagai pengganti agregat, namun penurunan stabilitas rendam masih memenuhi batas spesifikasi. Perbedaan pada stabilitas juga terlihat pada kadar serbuk ban bekas sebagai pengganti agregat sebesar 25% dan 50%.

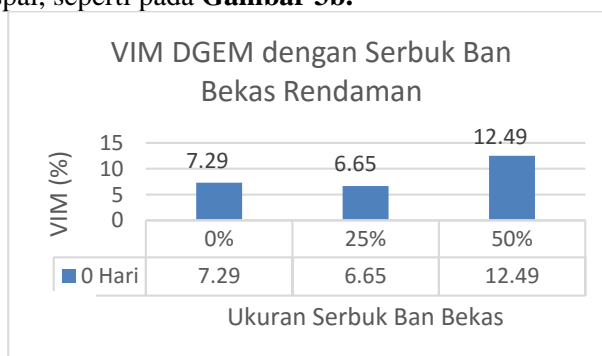


Gambar 2. Hubungan Antara Kadar Serbuk Ban Bekas dengan Stabilitas Rendam (a) dan Stabilitas Sisa (b) Pada Sample OGEM

Pada **Gambar 2b** terlihat bahwa stabilitas sisa mengalami penurunan dengan seiring dengan pertambahan serbuk ban bekas. Nilai kedua sampel tipe gradasi DGEM dan OGEM cukup rendah dan tidak memenuhi spesifikasi. Nilai stabilitas terendah dari tipe gradasi DGEM adalah 192,47 kg pada kadar serbuk ban bekas 25% dan dari tipe gradasi OGEM adalah 87,88 kg pada kadar serbuk ban bekas 50%.

❖ Hasil VIM Campuran DGEM dan OGEM

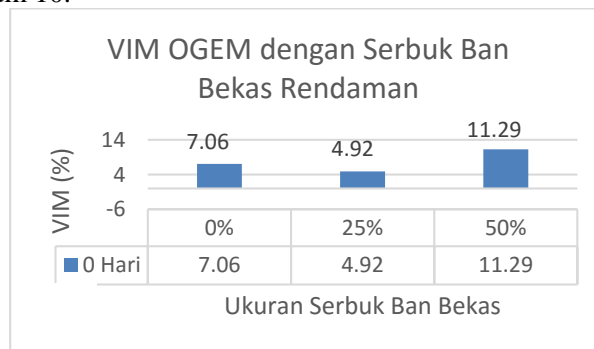
Pada **Gambar 3a** menunjukkan dengan peningkatan kadar serbuk ban bekas sebagai pengganti agregat halus pada campuran aspal emulsi DGEM juga mempengaruhi VIM. Semakin tinggi kadar dari serbuk ban bekas semakin meningkat juga nilai VIM. Pada kadar serbuk ban bekas 50%, nilai VIM melebihi nilai persyaratan yaitu 10. Namun, pada kadar serbuk ban bekas 25% nilai VIM masih memenuhi persyaratan diantara minimum 5 dan maksimum 10. Namun VIM mengalami penurunan seiring dengan kenaikan kadar serbuk aspal, seperti pada **Gambar 3b**.



Gambar 3. Hubungan Antara Kadar Serbuk Ban Bekas dengan VIM Pada Sample DGEM

Pada **Gambar 4a** menunjukkan dengan peningkatan kadar serbuk ban bekas sebagai pengganti agregat halus pada campuran aspal emulsi OGEM juga mempengaruhi VIM dimana semakin tinggi kadar dari serbuk ban bekas semakin meningkat VIMnya. Pada kadar serbuk ban bekas 50%, nilai VIM melebihi nilai persyaratan maksimum 10. Pada kadar serbuk ban bekas 25% nilai VIM mendekati nilai minimum 5. Pada **Gambar 4b** menunjukkan dengan peningkatan kadar serbuk ban bekas sebagai pengganti agregat halus pada campuran aspal emulsi OGEM mempengaruhi VIM. Semakin tinggi kadar dari serbuk ban bekas semakin meningkat juga nilai VIM. Pada kadar serbuk ban bekas 0% dan 25%, dan

kadar serbuk ban bekas 50% tanpa waktu *curing* nilai VIM masih memenuhi persyaratan diantara minimum 5 dan maksimum 10.



Gambar 4. Hubungan Antara Kadar Serbuk Ban Bekas dengan VIM pada Sample OGEM (Rendam)

Penambahan serbuk ban bekas berperan pada kenaikan VIM. Semakin banyak kadar penggantian serbuk ban bekas maka nilai VIM akan naik pula. Hal ini berlaku pada kedua tipe gradasi baik DGEM maupun OGEM. Pada tipe gradasi DGEM rendam, nilai VIM memenuhi pada semua kadar kecuali pada kadar 50% dengan nilai 12,49.

5. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

1. Pengaruh serbuk ban bekas ukuran mesh 20 sebagai pengganti agregat halus menyebabkan kenaikan nilai VIM pada gradasi DGEM maupun OGEM seiring dengan kenaikan kadar pergantiannya. Penelitian ini menunjukkan bahwa kadar rongga dalam campuran aspal emulsi dingin akibat penambahan kadar serbuk ban bekas cukup banyak dan sebagian besar memenuhi persyaratan minimum 5 dan maksimum 10.
2. Substitusi agregat halus dengan serbuk ban bekas menyebabkan penurunan nilai stabilitas pada gradasi DGEM maupun OGEM. Substitusi agregat halus dengan serbuk ban bekas untuk DGEM menunjukkan stabilitas tertinggi sebesar 511,23 kg dengan kadar serbuk ban bekas 50% dan terendah sebesar 192,47 kg dengan kadar serbuk ban bekas 25%. hari tetapi untuk OGEM menunjukkan 1 stabilitas yang tidak memenuhi syarat, yaitu dengan tertinggi sebesar 138,10 kg dengan kadar serbuk ban bekas 25% dan terendah sebesar 87,88 kg dengan kadar serbuk ban bekas 50%.
3. Penggunaan yang dianjurkan berdasarkan pada penelitian ini untuk DGEM adalah campuran dengan presentase serbuk ban bekas 50% OGEM adalah campuran dengan presentase serbuk ban bekas 25% karena keduanya merupakan hasil yang paling optimum dari masing-masing tipe gradasi.

5.2. Saran

1. Sampel memerlukan waktu *curing* yang lebih lama.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan terhadap CAED, serbuk ban bekas, dan tambahan bahan aditif lainnya yang mampu membantu pengikatan antara CAED dan serbuk ban bekas.

6. DAFTAR REFERENSI

- AASHTO. (1982). *Standart Specification for Transportation Materials and Method of Sampling and Testing, Part II, Specification, 13th Edition*, Washington, D.C , Amerika Serikat.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum Edisi 2018*. Kementerian Pekerjaan Umum.
- PT. TRIASINDOMIX (2010). *Spesifikasi Teknis Aspal Emulsi*. Sidoarjo.
- SNI 4798:2011. (2011). *Spesifikasi Aspal Emulsi Kationik*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Sugiyanto,G. (2008, February), *Kajian Karakteristik Campuran Hot Rolled Asphalt Akibat Penambahan Limbah Serbuk Ban Bekas*. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, 8(2), 91-104. Diambil 6 Maret 2018.

- Thanaya, I.N.A., (2007). Review and Recommendation of Cold Asphalt Emulsion Mixtures (CAEMs) Design. *Civil Engineering Dimension*, Vol. 9, No. 1, 49-56, March 2007 Udayana University, Kampus Bukit Jimbaran, Denpasar-Bali.
- Thanaya, I.N.A., et al (2015). Peningkatan Stabilitas Campuran Aspal Emulsi Dingin dengan Bahan dari Agregat Hasil Farukan Aspal Lama Dengan dan Tanpa Semen. *Jurnal Teknik Sipil*, Fakultas Teknik Universitas Udayana.
- Wulandari, P.S., Tjandra, Daniel. (2017). *Use of Crumb Rubber as an Additive in Asphalt Concrete Mixture*. *Procedia Engineering*, Vol. 171, 1384-1389, Petra Christian University, Siwalankerto 121-131, Surabaya, Indonesia.