



Studi Karakteristik Campuran Tambalan Cepat Mantap (TCM)

*I Nyoman Arya Thanaya, I Wayan Putra Jayantara, I Gusti Raka Purbanto

Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar

*)aryathanaya@unud.ac.id

Received: 6 Februari 2020 Revised: 30 April 2020 Accepted: 5 Mei 2020

Abstract

Patching road pothole can be done using Permanent Cold Patching (PCP). This research main aim was to analyze the characteristic of the PCP. PCP Super Cold Mix Asphalt was used for the experiment. The mixtures were compacted Marshall hummer in lab using, and plate compactor on site. It was obtained that: compaction temperature variation significantly affected the characteristic of the mixture. Compaction at 100°C and 150°C, met stability, porosity and VMA specification, but not for the VFB. It required more compaction energy. The stability of cold compacted mixture at the age of 1 hour gave 844.74 kg (min. 500 kg). Towards this value, at the age of 48 hours; 96 hours; 192 hours; 384 hours, respectively gave increase of stability of 102%; 140%; 183%; 187% and then constant. Cold compaction on site gave less performance with porosity values in a range of 4.585-8.22% (spec. 4% -10%), therefore the VFB is less than minimum 65% of VMA; the stability obtained was 1422.72 kg (>min 500kg) or 58% stability of the samples compacted in lab at the same 16 days of age where stability had become maximum (constant). Cantabro test result of the cold mix gave 100% weight loss (the sample disintegrated), meanwhile the hot mix only lost 7.56% from 16% max loss.

Keywords: *Pothole, permanent cold patching*

Abstrak

Penambalan jalan berlubang dapat dilakukan dengan menggunakan campuran Tambalan Cepat Mantap (TCM). Tujuan utama dari penelitian ini untuk menganalisis karakteristik campuran TCM. Digunakan campuran siap pakai Super Cold Mix Asphalt. Campuran dipadatkan di laboratorium dengan alat pemadatan Marshall dan plate compactor untuk pemadatan di lapangan. Diperoleh hasil: variasi suhu pemadatan sangat mempengaruhi karakteristik campuran, pemadatan pada suhu 100°C dan 150°C memenuhi syarat stabilitas, porositas, dan VMA, namun syarat VFB belum dipenuhi. Perlu peningkatan energi pemadatan. Stabilitas campuran dipadatkan dingin terhadap umur benda uji pada umur 1 jam menghasilkan nilai stabilitas Marshall 844,74 kg (min. 500 kg). Terhadap nilai ini, pada umur 48 jam; 96 jam; 192 jam; 384 jam masing-masing memberi peningkatan stabilitas sebesar 102%; 140%; 183%; 187% dan selanjutnya konstan. Pemadatan secara dingin di lapangan memberi kinerja yang lebih rendah dengan nilai porositas 4,585% (>spek. 4%-10%), sehingga nilai VFB lebih kecil dari minimum 65% terhadap VMA; diperoleh stabilitas 1422,72 kg (>min 500kg), atau 58% stabilitas sampel yang dipadatkan di lab pada umur yang sama yaitu 16 hari di mana stabilitas sudah maksimal (konstan). Nilai Cantabro campuran dingin mengalami kehilangan berat 100% (sampel hancur) sementara campuran panas hanya kehilangan berat sebesar 7,56% maksimal 16%.

Kata kunci: *Jalan berlubang, tambalan cepat mantap*

Pendahuluan

Kerusakan perkerasan jalan yang umumnya sering terjadi terutama pada musim hujan adalah jalan

berlubang. Hal tersebut disebabkan diantaranya karena penuaan aspal dan keberadaan air dalam sistem perkerasan, sehingga perkerasan jalan menjadi getas dan lebih cepat retak. Selanjutnya

akibat beban lalu-lintas yang berulang perkerasan dapat mengalami pelepasan butir agregat dan pada akhirnya perkerasan menjadi berlubang. Perkerasan jalan berlubang kerap sekali menjadi penyebab timbulnya kemacetan bahkan kecelakaan lalu-lintas. Untuk itu penanganan perkerasan jalan berlubang harus segera mungkin untuk ditangani agar kerusakan lebih parah dapat dicegah.

Umumnya campuran perkerasan berbahan pengikat aspal yang sering digunakan untuk menambal perkerasan berlubang adalah: campuran aspal panas, lapis penetrasi, dan campuran aspal dingin menggunakan aspal emulsi dingin. Namun pada musim hujan bahan tambalan aspal dingin hanya mampu bertahan selama tiga hari sampai tujuh hari saja. Sedangkan apabila menggunakan tambalan siap pakai yang kualitasnya lebih baik produk dari luar negeri harganya sangat tinggi mencapai sepuluh kali harga campuran aspal panas biasa. Teknologi dan kualitas bahan perekat produk luar negeri lebih baik (Nono & Hamdani, 2017).

Kendala penambalan menggunakan campuran aspal panas biasa, baik yang dicampur pada unit pencampur aspal atau yang dicampur secara manual dilapangan adalah waktu pelaksanaan yang dibatasi oleh temperatur atau temperatur campuran harus masih dalam keadaan panas yaitu berkisar antara 96°C sampai dengan 155°C (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2014), padahal penambalan kerusakan jalan berlubang lokasinya berjauhan serta berupat spot-spot kecil. Nono dan Hamdani (2017) memperoleh hasil stabilitas Marshall campuran Tambalan Cepat Mantap (TCM) dapat mencapai nilai minimal 500 kg.

Alternatif penanganan kerusakan perkerasan jalan berlubang secara cepat adalah menggunakan bahan yang dapat langsung dihampar dan dipadatkan dalam suhu udara sekitar. Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan sudah melakukan penelitian dan saat ini telah tersedia produk tambalan siap pakai yang dinamakan TCM, (Kementerian PUPR, 2020).

Produk ini tersedia dalam tiga jenis campuran yang berbeda dan sama-sama dikemas dalam kemasan zak sehingga dapat disimpan dalam waktu yang relatif lama dan bisa digunakan sewaktu-waktu. Produk-produk tambalan tersebut adalah TCM dengan proses produksi panas maupun dingin yang dikenal dengan nama *Super Cold Mix Asphalt* (SCMA), TCM campuran Asbuton hangat hampar dingin (TCMA), serta TCM menggunakan bahan garukan lapisan beraspal *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) yang disebut TCM-RAP dengan proses produksi dingin.

Penelitian ini menggunakan campuran TCM-SCMA dan bertujuan untuk: menganalisis karakteristik *Marshall* campuran TCM-SCMA yang dipadatkan panas dan dingin; menganalisis peningkatan stabilitas *Marshall* campuran yang dipadatkan pada suhu ruang dan diuji pada saat berumur 1 jam, 2 jam, 4 jam, 8 jam, 16 jam, 24 jam, 2 hari, 4 hari, 8 hari, 16 hari, 20 hari, 24 hari, 28 hari, 32 hari dan 36 hari; menganalisis perbandingan karakteristik campuran yang dipadatkan di lapangan menggunakan *plate compactor* enam lintasan dengan yang dipadatkan 2x75 di laboratorium; dan menganalisis kinerja campuran ketika dilakukan uji *cantabro*.

TCM merupakan campuran bahan beraspal dingin dengan bahan aditif yang dikemas dalam kemasan berukuran 25 kg dan ada dalam tiga jenis campuran yang berbeda yaitu TCM-SCMA, TCM-RAP. Campuran ini langsung dihamparkan ke area perkerasan yang berlubang lalu dipadatkan menggunakan alat *hand stamper* dan bisa langsung di buka untuk lalu lintas. Spesifikasi TCM: (1) gradasi agregat untuk bahan tambalan mengacu pada Tabel 1 (gradasi 1 dengan ukuran agregat nominal maksimum (NMA) 9,5 mm; gradasi 2 untuk NMA 12,5 mm); (2) ketentuan campuran beraspal panas mengacu pada Tabel 2 (Kementerian PUPR, 2015; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2014); dan untuk campuran aspal panas di hampar dingin mengacu Tabel 3.

Tabel 1. Ketentuan gradasi agregat campuran beraspal untuk tambalan

Ukuran saringan	Spesifikasi persen berat lolos				
		Gradasi 1 (NMA 9,5 mm)		Gradasi 2 (NMA 12,5 mm)	
3/4"	19,000	-	-	100	100
1/2"	12,500	100	100	90	100
3/8"	9,500	90	100	77	90
No. 4	4,750	-	90	53	69
No. 8	2,360	32	67	33	53
No. 16	1,180	-	-	21	40
No. 30	0,600	-	-	14	30
No. 50	0,300	-	-	9	22
No. 200	0,075	2	10	4	9

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2014

Tabel 2. Ketentuan sifat campuran beraspal panas untuk bahan tambalan

Sifat campuran	Syarat
Rongga terisi aspal (VFB); %	Min. 65
Rongga udara dalam campuran (VIM); %	3-5
Rongga di antara agregat (VMA); %	Min. 15
Stabilitas <i>Marshall</i> ; kg	Min 800
Pelelehan; mm	2-4

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2014

Nilai stabilitas minimal sesuai spesifikasi pada Tabel 3, setara dengan *Cold Paving Hot Mix Asphalt* (CPHMA), yang juga mensyaratkan minimal 500 kg, yang diperuntukkan untuk lalu lintas ringan sampai sedang (Kementerian PUPR, 2015). Hal ini sudah distudi oleh Thanaya *et al.*, (2017).

Tabel 3. Ketentuan sifat campuran beraspal panas hampar dingin

Sifat campuran	Syarat
Rongga terisi aspal (VFB);%	Min. 60
Rongga udara dalam campuran (VIM);%	4-10
Rongga di antara agregat (VMA);%	Min. 16
Stabilitas <i>Marshall</i> , kg	Min. 500
Stabilitas sisa setelah perendaman selama 1 x 24 jam pada temperatur udara; %	Min. 60

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2014)

Erawan (2014), menyatakan bahwa TCM dapat dipadatkan pada suhu ruang dengan alat pemadat ringan dan dapat langsung dilintasi kendaraan segera setelah pemadatan. Lebih lanjut Pio (2020), mengungkapkan bahwa TCM dapat diaplikasikan pada musim penghujan dengan hasil yang memadai. TCM di negara barat dikenal dengan nama *Permanent Cold Patching Materials*, bila diaplikasikan dengan cara yang tepat, memberikan hasil yang memuaskan dan memberikan biaya pemeliharaan yang efektif. (Vanessa *et al.*, 2007).

Selain itu Campuran *Permanent Cold Patching* memerlukan prekat berupa aspal modifikasi, yang dapat menyeliputi agregat dalam keadaan lembab dan memberikan sifat lekat yang memadai. Perekat campuran ini perlu melalui Prosedur Tes Bio Statis Akut untuk bahan berbahaya yang menentukan efek limpasan ke saluran air, danau, kolam, dan air tanah (QPR, 2020). Namun, sampai saat ini kinerja TCM sebagai produk yang siap pakai, belum banyak diteliti di lab dan juga lapangan, khususnya terkait dengan energi pemadatan dan temperatur pemadatan. Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh kinerja TCM di lab dan juga lapangan, sebagai bahan perbandingan dan untuk dijadikan bahan kajian

Metode

Pada penelitian ini pengumpulan, pengolahan, dan analisis data dilakukan berdasarkan beberapa rujukan diantaranya, meliputi: (BSN, 2008a, 2004); (BSI, 1975); dan (Dep PU, 1990, 2003). Pengumpulan data dilakukan menggunakan bahan dan alat-alat yang telah dipersiapkan dengan

langkah-langkah: pengumpulan data hasil ekstraksi campuran, pemeriksaan berat jenis agregat hasil ekstraksi, pengujian *Marshall*, dan pengujian *Cantabro*. Selanjutnya, setelah data terumpul dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan hasil dari perhitungan dan dilakukan analisis data.

Pemeriksaan bahan campuran

Pemeriksaan bahan campuran dilakukan dari hasil ekstraksi campuran dengan metode *refluks*. Pengujian material bahan yang dilakukan meliputi pemeriksaan kadar aspal yang di pakai dalam campuran SCMA, pemeriksaan analisa saringan agregat, pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat hasil dari ekstraksi campuran tersebut yang nanti datanya akan di pakai untuk menghitung volumetrik campuran.

Pembuatan benda uji dengan variasi suhu pemadatan

Pembuatan benda uji dengan variasi suhu pemadatan bertujuan untuk menganalisis perbandingan karakteristik campuran TCM-SCMA ketika dipadatkan panas dan dingin. Variasi suhu yang dicoba pada penelitian ini yaitu pemadatan dengan alat *Marshall 2x75* tumbukan pada suhu 28°C, 60°C, 100 °C dan 150 °C.

Pengujian *Marshall*

Pengujian *Marshall* dilakukan bertujuan untuk mengetahui nilai stabilitas dan pelepasan (*flow*) dari campuran benda uji. Pengujian campuran metode *Marshall* berpedoman pada RSNI M-01-2003, di mana sampel direndam dalam air selama 30 menit pada suhu ruang dan kemudian diuji *Marshall*.

Pengujian *Cantabro*

Pengujian *Cantabro Abrasion Loss (CAL)* bertujuan untuk mengevaluasi campuran perkerasan beraspal terhadap pelepasan butir agregat akibat menurunnya kelekatan aspal karena pengaruh gesekan berulang. Pengujian ini dilakukan secara kering tanpa direndam. Alat yang dipakai adalah mesin Los Angeles yang dijalankan dengan kecepatan 30 – 33 rpm tanpa bola baja sebanyak 300 putaran.

Nilai CAL dihitung dengan cara mencari selisih berat benda uji kering sebelum di uji dengan berat benda uji setelah di uji, dibagi berat semula. Nilai CAL maks 16% (Hamzah *et al.*, 2010). Pengujian *Cantabro* dilakukan terhadap sampel yang mencapai umur dengan stabilitas maksimal dan sampel yang dipanaskan dengan suhu 100 °C.

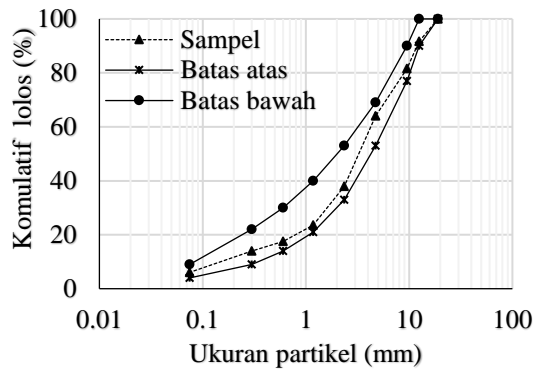
Hasil dan Pembahasan

Hasil ekstraksi kadar aspal campuran

Pengujian kadar aspal yang terdapat dalam campuran SCMA ini dilakukan dengan cara ekstraksi dan pengujian dilakukan sebanyak dua kali. Dari hasil pengujian yang dilakukan diperoleh kadar aspal rata-rata dalam campuran adalah 6,44%.

Analisa saringan agregat hasil ekstraksi

Pengujian analisa saringan agregat hasil ekstraksi bertujuan untuk mendapatkan gradasi dari campuran. Hasil ekstraksi campuran Gradasi 2 untuk NMA 12,5 mm, campuran TCM-SCMA dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Spesifikasi gradasi dan gradasi campuran (TCM-SCMA)

Menurut grafik hasil rata-rata analisa saringan campuran di atas gradasi campuran memiliki gradasi yaitu untuk agregat kasar $\geq 4,75\text{mm}$ (no.4) sebanyak 35,95%, agregat halus 0,075 mm–4,75 mm lolos saringan no. 4 sebanyak 57,99% dan *filler* sebanyak 6,06%, dan berada antara batas atas dan batas bawah spesifikasi.

Pemeriksaan berat jenis agregat hasil ekstraksi

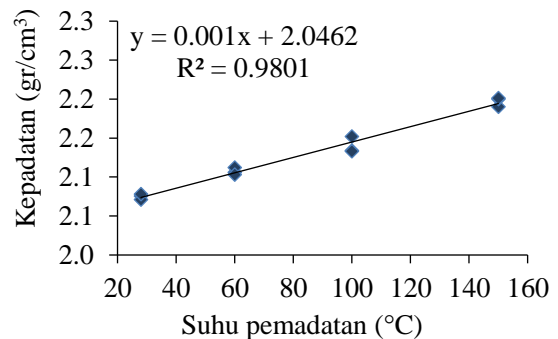
Karena material hasil ekstraksi campuran SCMA terbatas, sehingga yang diuji hanya berat jenis dan penyerapan dari agregat kasar, agregat halus dan *filler* untuk melengkapi data di dalam perhitungan volumetrik benda uji. Pemeriksaan dilakukan sebanyak dua kali percobaan dan berikut ini adalah hasil rata-rata dari pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar, agregat halus, dan *filler* campuran, sesuai ketentuan BSN (2008a dan 2008b). Hasil pemeriksaan agregat hasil ekstraksi dirangkum pada Tabel 4. Nilai berat Jenis agregat cukup baik di mana umumnya sekitar 2,4-2,5. Tidak ada ketentuan nilai minimum (Kementerian PUPR, 2018).

Tabel 4. Hasil pemeriksaan berat jenis agregat

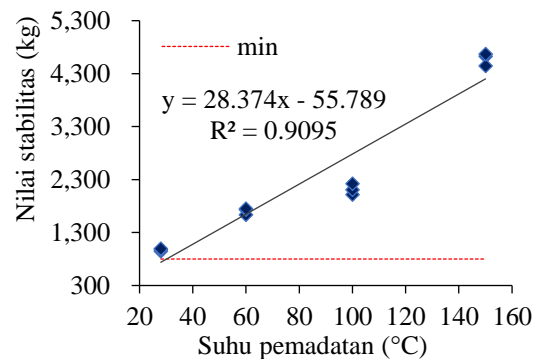
Material	Jenis pengujian	Sat.	Hasil	Spec.
Agregat kasar	Bulk	-	2,569	-
	SSD	-	2,605	-
	Apparent	-	2,664	-
	Penyerapan	%	1,396	<3%
Agregat halus	Bulk	-	2,563	-
	SSD	-	2,610	-
	Apparent	-	2,688	-
	Penyerapan	%	1,814	<3%
Filler			2,241	-

Karakteristik campuran TCM-SCMA dengan variasi suhu

Karakteristik campuran dengan variasi suhu, disajikan pada Tabel 5 dan 6, serta Gambar 2a sampai dengan 2f. **Error! Reference source not found.**a menunjukkan nilai kepadatan meningkat dengan bertambah tingginya suhu pemadatan. Hal itu disebabkan semakin tinggi suhu pemadatan aspal semakin lunak dan mudah untuk dipadatkan.



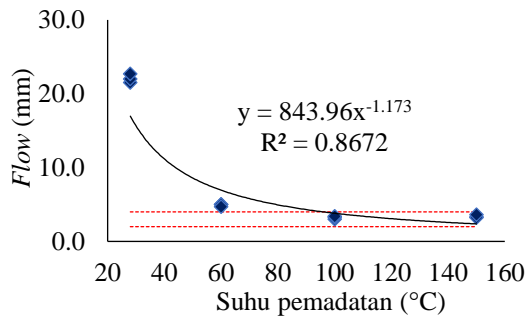
Gambar 2a. Kepadatan vs. suhu pemadatan



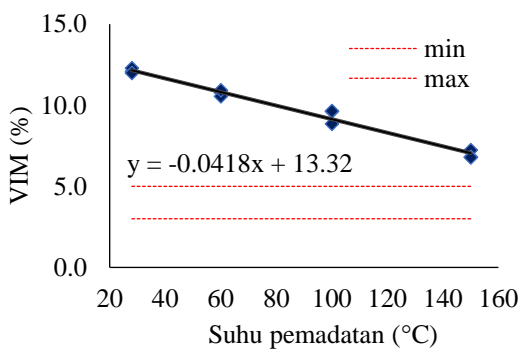
Gambar 2b. Stabilitas vs. suhu pemadatan

Gambar 2b menunjukkan nilai stabilitas meningkat sejalan dengan meningkatnya suhu pemadatan. Hal itu berarti pada suhu tinggi campuran akan menjadi lebih padat dan ikatan antara agregat dan aspal semakin baik. Sedangkan kehehan plastis (*flow*) pada saat sampel dipadatkan pada suhu

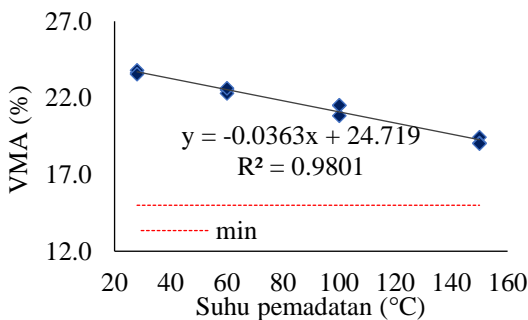
lebih tinggi semakin rendah (kaku), karena sampel semakin padat (Gambar 2c).



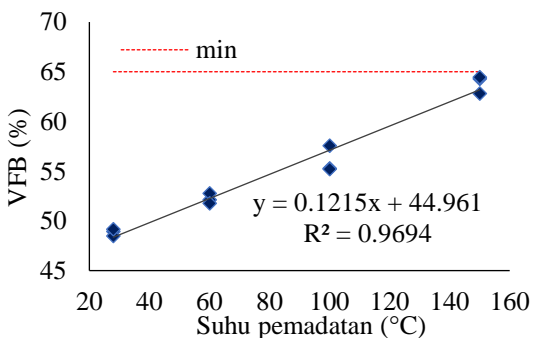
Gambar 2c. Flow vs. suhu pemadatan



Gambar 2d. VIM vs. suhu pemadatan



Gambar 2e. VMA vs. suhu pemadatan



Gambar 2f. VFB vs. suhu pemadatan

Gambar 2d menyajikan nilai VIM menurun, hal ini disebabkan karena campuran semakin padat, lebih mudah untuk dipadatkan pada suhu yang lebih

tinggi (*workability* lebih baik) sehingga kadar rongga dalam campuran semakin kecil. Namun sampai dengan pemadatan pada suhu 150 °C nilai VIM campuran masih lebih tinggi dari spesifikasi yaitu 6,806 % (spek. 3%-5%). Oleh karena itu untuk mencapai nilai VIM yang disyaratkan diperlukan energi pemadatan yang lebih tinggi dari 2x75 tumbukan (*heavy compaction*), karena nilai VIM dipengaruhi oleh kepadatan.

Data VIM dalam Gambar 2d, sejalan dengan hasil penelitian Dong *et al.* (2014) yang menyarankan untuk mendapat hasil penambalan lubang yang lebih baik, perlu diberikan daya pemadatan yang lebih tinggi dalam pemadatan pada suhu ruang, karena campuran bisa sudah relatif kaku saat diaplikasikan. Gambar 2e menyajikan nilai VMA menurun, hal ini disebabkan karena pada temperatur tinggi campuran semakin padat, sehingga rongga antar agregat suatu campuran menjadi semakin kecil.

Dengan kepadatan yang diperoleh seperti disajikan pada Gambar 2a memberikan VIM yang lebih besar dari syarat maksimum sesuai dengan Gambar 2d, hal ini sejalan dengan nilai VMA yang jauh lebih besar dari nilai minimum terutama pada saat temperatur 28°C (suhu ruang). Gambar 2f menunjukkan nilai VFB meningkat, hal ini berarti temperatur pemadatan semakin tinggi menyebabkan campuran semakin mudah untuk dipadatkan sehingga nilai rongga yang terisi aspal semakin besar.

Namun dari semua variasi suhu pemadatan yang dicoba nilai VFB masih belum mencapai spesifikasi (Min. 65%), hal tersebut disebabkan oleh nilai VIM yang besar berarti banyak rongga yang belum terisi aspal. Secara umum volumetrik campuran beraspal menunjukkan bahwa VIM ditambah VFB sama dengan VMA, maka semakin besar nilai VIM, nilai VFB akan semakin menjadi kecil.

Hasil pemadatan pada suhu ruang dan diuji pada suhu ruang (uji secara dingin) dan suhu 60 °C (sesuai prosedur uji), disajikan pada Tabel 5 dan karakteristik TCM-SCMA pemadatan suhu panas dan diuji secara panas disajikan pada Tabel 6. Dong *et al.* (2014) menyarankan untuk mendapat hasil penambalan lubang yang lebih baik, perlu diberikan daya pemadatan yang lebih tinggi, karena campuran bisa sudah relatif kaku saat diaplikasikan. Terlihat pada Tabel 5, pada campuran yang dipadatkan dingin nilai stabilitas memenuhi spesifikasi. Namun nilai porositas (VIM) di atas nilai maksimal spesifikasi. Hal ini dikarenakan campuran dalam kondisi kaku saat dipadatkan (Suroso, 2008).

Tabel 5. Karakteristik TCM-SCMA pemadatan suhu ruang diuji dingin dan diuji panas pada air suhu 60 °C selama 30 menit

Karakteristik campuran	Dipadatkan dingin dan diuji dingin		Dipadatkan dingin dan diuji panas	
	Nilai	Spec.	Nilai	Spec.
Kepadatan	2,092	-	2,071	-
Stabilitas (kg)	1.445,800	Min. 500	974,700	Min. 800
Flow (mm)	23,600	-	22,000	2-4
VIM (%)	11,400	4-10	12,271	3-5
VMA (%)	23,051	Min. 16	23,807	Min. 15
VFB (%)	50,545	Min. 60	48,458	Min. 65

Syarat stabilitas minimum campuran aspal dingin minimal 500 kg, umumnya lebih rendah dari campuran aspal panas, karena diperuntukkan untuk perkerasan dengan beban lalu-lintas rendah sampai sedang. Sedangkan campuran aspal panas bisa diperuntukkan untuk beban lalu-lintas berat. Hal ini disajikan oleh Thanaya *et al.* (2015) dan Tajudin dan Suparma (2017), di mana disebutkan nilai stabilitas campuran panas minimal 800 kg sesuai spesifikasi yang berlaku, dan dapat memiliki nilai stabilitas sampai satu setengah bahkan dua kali ketentuan minimalnya.

Tabel 6. Karakteristik TCM-SCMA pemadatan suhu panas dan diuji secara panas (setelah direndam air dengan suhu 60 °C selama 30 menit)

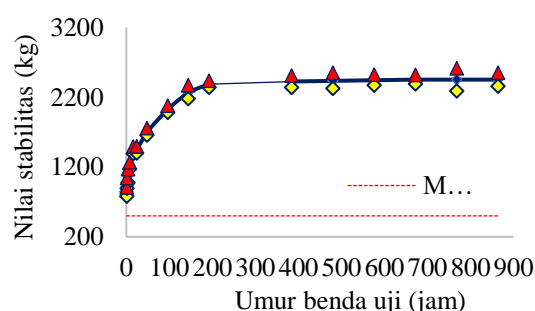
Karakteristik campuran	Suhu pemadatan (°C)			Spec.
	60	100	150	
Kepadatan (gr/cm ³)	2,112	2,152	2,200	-
Stabilitas (kg)	1.730,500	2.106,700	4.446,000	Min. 800
Flow (mm)	5,000	3,300	3,200	2-4
VIM (%)	10,534	8,839	6,806	3-5
VMA (%)	22,299	20,827	19,061	Min. 15
VFB (%)	52,761	57,558	64,294	Min. 65

Karakteristik Marshall campuran TCM-SCMA dipadatkan dingin dengan variasi umur

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui peningkatan kekuatan campuran TCM-SCMA dan stabilitas maksimum campuran. Variasi umur benda uji TCM-SCMA dilakukan pada umur 1 jam, 2 Jam, 4 jam, 8 jam, 16 jam, 24 jam, 48 jam, 96 jam, 144 jam, 192 jam, 384 jam, 480 jam, 576 jam, 672 jam, 268 jam dan 864 jam dengan pemadatan dilakukan pada suhu ruang (28 °C), seperti disajikan pada Gambar 3.

Umur benda uji berpengaruh pada stabilitas Marshall dari sejak umur awal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, hal tersebut disebabkan

karena semakin bertambah umur maka kandungan kadar pelarut dalam campuran aspal mengalami penguapan sehingga stabilitas semakin meningkat.



Gambar 3. Peningkatan stabilitas vs. umur benda uji

Peningkatan stabilitas Marshall benda uji terjadi dari umur awal pengujian yaitu dari benda uji berumur 1 jam di mana menghasilkan nilai stabilitas Marshall sebesar 844.74 kg (min. 500), terhadap nilai ini terjadi peningkatan pada umur 48 jam; 96 jam; 192 jam; 384 jam terjadi peningkatan dengan persentase masing-masing sebesar 102%; 140%; 183%; 187% dan selanjutnya konstan, yang berarti campuran pada umur 384 jam (16 hari) memberi stabilitas maksimal.

Data di atas sejalan dengan hasil penelitian Diaz (2016), di mana daya tahan terhadap deformasi dari campuran CMA *patching mixes*, meningkat sejalan dengan umur campuran, karena adanya penguapan kadar cairan campuran yang menyebabkan campuran menjadi lebih kuat/kaku. Sarkinen *et al.* (2018) juga mendapatkan hasil penelitian di mana temperatur dan kelembaban lingkungan berpengaruh signifikan pada hasil penambalan lubang jalan.

Perbedaan karakteristik campuran dipadatkan di lapangan dan di laboratorium

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara karakteristik campuran TCM-SCMA yang dipadatkan pada suhu ruang di laboratorium menggunakan alat Marshall 2x75

tumbukan dengan yang dipadatkan pada suhu ruang di lapangan menggunakan alat *plate compactor* 6 lintasan, sampai campuran tampak stabil, diperlukan enam lintasan pemadatan sesuai kebiasaan pelaksanaan di lapangan. Untuk sampel dilapangan dilakukan *core drill* pada umur 16 hari (384 jam) di mana sampel sudah memberi stabilitas yang konstan. Pada umur yang sama 16 hari sampel di lab dan di lapangan diuji dengan perbandingan karakteristik dapat dilihat pada 7.

Tabel 7. Pemadatan lapangan vs pemadatan laboratorium

Karakteristik campuran	Satuan	Dipadatkan di lapangan	Dipadatkan di lab*)
Kepadatan	gram/cm ³	2,036	2,129
Stabilitas	Kg	1.422,720	2.424,923
Flow	mm	24,000	24,000
VIM	%	12,680	9,810
VMA	%	24,162	21,670
VFB	%	47,524	54,730

*Dipadatkan dingin diuji dingin (rendam 30 menit pada air suhu ruang)

Tabel 7 memberi hasil stabilitas memenuhi min 500 kg, VI 4-10%, VMA min16%, namun tidak memenuhi VFB min 60% karena porositas yang tinggi (kurang padat). Hal ini sejalan dengan penelitian Dong *et al.* (2014), yang memperoleh hasil penelitian bahwa kinerja material tambalan lubang jalan sangat dipengaruhi oleh tingkat pemadatan yang dilakukan.

Pengujian Cantabro

Pengujian *Cantabro* dilakukan pada saat benda uji sudah tidak mengandung kadar air atau stabilitas maksimal yaitu pada saat berumur 16 hari yang dipadatkan dingin dan juga dicoba dengan benda uji yang dipadatkan dengan suhu 100 °C sebagai perbandingan, yang hasilnya disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil pengujian Cantabro

Dipadatkan dingin (28 °C)	Dipadatkan panas (100 °C)
100 %	7,40 %
Maksimum 16 % (<i>Hamzah et al.</i> , 2010)	

Hasil dari pengujian pada Tabel 8 menunjukkan walaupun benda uji yang dipadatkan dingin dengan berumur 384 jam (16 hari) memiliki stabilitas yang tinggi sampai hampir lima kali dari spesifikasi (Gambar 3) namun ketika diuji *Cantabro* benda uji tersebut sama sekali tidak kuat bahkan mengalami kehilangan berat 100%, hal itu disebabkan oleh kemampuan aspal untuk tetap mempertahankan ikatan antar agregat (*kohesi*)

kurang baik dalam campuran aspal yang dipadatkan dingin, kondisi ini menunjukkan mortar campuran getas.

Kesimpulan

Dapat diambil kesimpulan bahwa karakteristik campuran yang dipadatkan panas lebih baik dibandingkan dengan karakteristik campuran dipadatkan dingin, namun masih memerlukan enersi pemadatan yang lebih besar untuk memenuhi syarat porositas. Nilai VFB tidak memenuhi syarat. Hal ini memerlukan peningkatan energi pemadatan sehingga porositas menjadi lebih kecil. Peningkatan nilai stabilitas *Marshall* campuran dipadatkan dingin terhadap umur benda uji pada umur satu jam menghasilkan nilai stabilitas *Marshall* 844,74 kg (min. 500), dan mencapai maksimal 2.432 kg pada umur 16 hari (384 jam).

Karakteristik campuran dipadatkan dengan *plate compactor* enam lintasan kurang maksimal sehingga mempunyai karakteristik lebih rendah dari pemadatan 2x75 di laboratorium dengan alat *Marshall*. Nilai *Cantabro* campuran TCM-SCMA dipadatkan dingin tidak memenuhi spesifikasi sementara yang dipadatkan panas memenuhi spesifikasi yaitu dengan nilai *Cantabro Abrasion Loss* (CAL) 7,40% (<16%).

Saran

Karena pemadatan secara dingin dilapangan menggunakan *plate compactor* enam lintasan hasilnya kurang maksimal, disarankan pada pekerjaan *patching* memakai alat pemadat yang bisa memberi kepadatan setara dengan pemadatan 2x75 di laboratorium. Perlu dicoba uji pemadatan di lapangan menggunakan *plate compactor* enam lintasan terhadap campuran TCM-SCMA yang dipadatkan dalam keadaan panas.

Berdasarkan analisis dari penelitian ini, dengan pemadatan berat (*heavy compaction*) dan suhu yang tinggi (150 °C) tidak tercapai tingkat porositas (VIM) yang disyaratkan, maka disarankan untuk meningkatkan energi pemadatan dan formulasi bahan perekat TCM-SCMA perlu dikaji kembali sehingga masih mudah untuk dipadatkan pada suhu ruang dalam jangka waktu tertentu.

Daftar Pustaka

Badan Standarisasi Nasional (BSN). (2004). *Cara uji ekstraksi kadar aspal dari campuran beraspal menggunakan tabung refluks gelas*. RSNI M-05-2004.

- _____. (2008a). *Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus*. SNI 1969: 2008.
- _____. (2008b). *Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar*. SNI 1969: 2008.
- British Standard Institution (BSI). (1975). *BS 812 Method for sampling and testing of mineral aggregates, sands and filler*. London.
- Departemen Pekerjaan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan PU, Standar Nasional Indonesia. (1990). *Metode pengujian tentang analisis saringan agregat halus dan kasar*. SNI 03-1968-1990.
- _____. (2003). *Metode pengujian campuran beraspal panas dengan alat Marshall*. RSNI M-01-2003.
- Diaz, L. G. (2016). Creep performance evaluation of Cold Mix Asphalt patching mixes. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 9(2), 149-158.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2014). *Spesifikasi umum bidang jalan dan jembatan tahun 2010* (Edisi ke-3). Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Dong, Q., Huang, B., & Jia, X. (2014). Long-term cost-effectiveness of asphalt pavement pothole patching methods. *Transportation Research Record*, 2431(1), 49-56.
- Dong, Q, Huang, B., Zhao, S. (2014). Field and laboratory evaluation of winter season pavement pothole patching materials, *International Journal of Pavement Engineering*, 15(4), 279-289.
- Erawan, A. (2014). *Atasi jalan rusak, PU gunakan teknologi tambalan cepat mantap*.
- Hamzah, M. O., Hasan, M. R. M., Che Wan, C. N., & Abdullah, N. H. A. (2010). Comparative study on performance of Malaysian porous asphalt mixes incorporating conventional and modified binders. *JApSc*, 10(20), 2403-2410.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). (2014). *Spesifikasi umum bidang jalan dan jembatan tahun 2010* (Edisi ke- 3). Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- _____. (2015). *Surat edaran menteri pekerjaan umum dan perumahan rakyat No. 28/se/m/2015 tentang pedoman pelaksanaan asbuton campuran panas hampar dingin (CPHMA)*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- _____. (2018). *Spesifikasi umum untuk pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- _____. (2020). *Tambalan cepat mantap, teknologi penambalan instan yang mudah dilakukan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Nono, & Hamdani, D. (2017). Teknologi tambalan cepat mantap sebagai solusi cepat penanganan kerusakan jalan berlubang. *Jurnal HPJI*, 3(1), 47-58.
- Pio. (2020). *Teknologi TCM atasi kerusakan jalan di musim penghujan*.
- Quality Pavement Repair (QPR). (2020). *High performance permanent pavement repair material specification*.
- Sarkkinena, M., Kujalab, K., & Gehörb, S. (2018). *Eco-Friendly Geopolymer Composite for Winter Season Pavement Pothole Patching: Ceramic Engineering and Science Proceedings*. Paper presented at of the 41st International Conference on Advanced Ceramics and Composites, 38(3).
- Suroso, T. W. (2008). Faktor-faktor penyebab kerusakan dini pada perkerasan jalan. *Jurnal Jalan dan Jembatan*, 25(3).
- Tajudin, A. N. & Suparma, L. B. (2017). Pengaruh rendaman pada indirect tensile strength campuran AC-BC dengan limbah plastik sebagai agregat pengganti. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 23(2), 166-173.
- Thanaya, I. N. A., Puranto, I. G. R., & Nugraha, I. N. S. (2015). Studi karakteristik campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) menggunakan aspal penetrasi 60/70 dengan penambahan lateks. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 22(2), 77-86.
- Thanaya, I. N. A., Suweda, I. W., & Sparsa, A. A. (2017). perbandingan karakteristik campuran cold paving hot mix asbuton (CPHMA) yang dipadatkan secara dingin dan panas. *Jurnal Teknik Sipil*, 24(3), 247-256.
- Vanessa I, Herrera, R., Prozzi, J., Prozzi, J.A. (2007). *Mixture design and performance-based specifications for cold patching mixtures*. Suite 200 Austin: Center for Transportation Research The University of Texas at Austin 3208 Red River, TX 78705-2650.