

PENENTUAN *OPTIMUM SETTING TIME* ASPAL EMULSI JENIS CRS-1 DAN CRS-1P SEBAGAI MATERIAL LAPIS PEREKAT

Muhammad Rezki Fadhilah
MSTT DTSL FT
Universitas Gadjah Mada
Jln. Grafika 2, Kampus UGM
Sleman DIY 55281
muhammadrezki2019@mail.ugm.ac.id

Latif Budi Suparma
MSTT DTSL FT
Universitas Gadjah Mada
Jln. Grafika 2, Kampus UGM
Sleman DIY 55281
lbsuparma@ugm.ac.id

Suprpto Siswosukarto
MSTT DTSL FT
Universitas Gadjah Mada
Jln. Grafika 2, Kampus UGM
Sleman DIY 55281
suprpto.siswosukarto@ugm.ac.id

Abstract

The use of a tack coat is very important in supporting the performance of a road pavement to improve the road capability. This research was carried out in 2 stages, namely: (1) empirical testing in the laboratory to determine the shear strength of the interlayer layer of the specimen using a tack coat of CRS-1P and CRS-1 types with variations in the rate of sprayed and curing time using the Leutner shear test, and (2) mechanistic analysis using BISAR 3.0 software to determine the minimum shear strength as the basis for determining the optimum tack coat application. Based on the results of the analysis of the flexible pavement structure using BISAR 3.0 software, the maximum shear stress value at 100 kN overload loading is 0.561 MPa which is set as the minimum allowable shear strength. This study showed that all variations of the tested tack coat application resulted in a shear strength value greater than the minimum shear strength so that the recommended optimum rate of sprayed and curing time was for tack coat materials of CRS-1 and CRS-1P emulsion asphalt types at 0.35 l/m² with a curing time of 45 minutes with a shear strength of 1.610 MPa and 1.390 MPa, respectively.

Keywords: road pavement; tack coat; rate of sprayed; curing time; shear strength.

Abstrak

Penggunaan lapis perekat sangat penting dalam mendukung kinerja suatu perkerasan jalan untuk meningkatkan kemampuan jalan tersebut. Penelitian ini dilakukan dalam 2 tahapan, yaitu: (1) pengujian empiris di laboratorium untuk mengetahui kuat geser pada lapisan *interlayer* benda uji dengan menggunakan lapis perekat jenis CRS-1P dan jenis CRS-1, dengan variasi *rate of sprayed* dan *curing time*, yang menggunakan alat Leutner *shear test*, dan (2) pengujian mekanistik menggunakan perangkat lunak BISAR 3.0, untuk menentukan kuat geser minimum sebagai dasar penentuan aplikasi lapis perekat yang optimum. Berdasarkan hasil analisis struktur perkerasan lentur menggunakan perangkat lunak BISAR 3.0, diperoleh nilai tegangan geser maksimum pada pembebanan *overload* 100 kN, yaitu 0,561 MPa, yang ditetapkan sebagai kuat geser minimum yang diizinkan. Penelitian ini menunjukkan bahwa semua variasi aplikasi lapis perekat yang diuji menghasilkan nilai kuat geser yang lebih besar daripada kuat geser minimum, sehingga *rate of sprayed* dan *curing time* aplikasi optimum yang direkomendasikan untuk material lapis perekat jenis aspal emulsi CRS-1 dan aspal emulsi CRS-1P adalah 0,35 l/m² dengan *curing time* 45 menit dan dengan kuat geser masing-masing sebesar 1,610 MPa dan 1,390 MPa.

Kata-kata kunci: perkerasan jalan; lapis perekat; *rate of sprayed*; *curing time*; kuat geser.

PENDAHULUAN

Ikatan antarlapisan sangat penting untuk kinerja suatu sistem perkerasan *multilayer* agar dapat menghasilkan pelayanan jalan yang optimal. Ikatan antarlapisan yang tidak ideal akan mengakibatkan berbagai kerusakan jalan, seperti *slippage cracking*, *premature fatigue*

cracking, top-down cracking, delamination, dan potholes. Ketidakmampuan atau kegagalan ikatan menyebabkan slip di antara lapisan perkerasan, yang mengakibatkan penurunan yang signifikan pada kekuatan geser struktur perkerasan, sehingga membuat perkerasan lebih rentan terhadap berbagai gangguan, seperti retak, *rutting*, dan lubang.

Ikatan antarlapis perkerasan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja perkerasan dan respons selama pembebanan lalu lintas (Wang et al., 2017). Peran *tack coat* adalah untuk memberikan ikatan *adhesif* yang memadai antarlapisan perkerasan, sehingga berperilaku sebagai struktur monolitik (Tashman et al., 2006). Faktor intrinsik, seperti jenis *tack coat*, tingkat aplikasi, waktu *curing* dan kondisi aplikasi termasuk temperatur, kelembapan, dan tekstur permukaan, bersama-sama memengaruhi karakteristik ikatan antarlapisan. Kekuatan geser antarlapisan telah ditemukan sebagai parameter paling mendasar untuk mengekspresikan efektivitas lapisan *tack coat* dalam meningkatkan ikatan antarlapisan. Penggunaan *tack coat* yang terlalu sedikit atau penyebaran *tack coat* yang terlalu tipis akan mengakibatkan mudah lepasnya ikatan antarlapisan perkerasan. Pemberian *tack coat* terlalu berlebih dikhawatirkan akan membentuk bidang geser antarlapisannya. Pemberian *tack coat* yang tepat, yaitu tepat jumlah dan tepat waktu, akan sangat membantu kinerja antara lapisan perkerasan beraspal.

Waktu pengeringan (*curing time*) *tack coat* memiliki efek minimal pada kekuatan ikatan. Negara Bagian Alaska, di Amerika Serikat, mengatur waktu *curing* maksimum 2 jam untuk CSS-1, sementara Negara Bagian Arkansas menentukan periode curing maksimum 45 menit untuk SS-1 dan MS2 (Tashman et al., 2006).

Material *tack coat* yang banyak dipakai saat ini adalah jenis aspal emulsi, karena keunggulannya dalam berbagai hal dibandingkan material lain, seperti aspal cair (*cutback asphalt*) maupun aspal padat. Kinerja penggunaan aspal emulsi yang optimal sangat ditentukan oleh jenis aspal emulsi itu sendiri, jumlah sebaran (*rate of sprayed*), lama *breaking* dan *curing time* (*setting time*), dan jenis lapis perkerasan yang direkatkan. Lamanya *setting time* dipengaruhi oleh jumlah sebaran (*rate of sprayed*), temperatur, dan kondisi cuaca.

Kinerja *tack coat* di laboratorium dapat diukur dengan pengujian tahanan geser, untuk mendapatkan kekuatan geser pada sistem perekatan. Tahanan geser yang dihasilkan oleh *tack coat* terhadap lapis beraspal akan meningkat sejalan dengan lamanya *curing time* sampai dengan batas waktu tertentu. Besarnya tahanan geser yang harus dimiliki dalam sistem tersebut dapat diestimasi dengan memodelkan *multilayer system* dengan alat bantu *software* atau dengan analisis *finite element*. Besarnya tahanan geser ini bergantung pada material pada lapisan-lapisan yang direkatkan, modulus elastisitas bahan pada lapisan-lapisan yang direkatkan, ketebalan masing-masing lapisan yang direkatkan, beban lalu lintas yang dilayani, dan kondisi lingkungan (AASHTO, 1993).

Penelitian ini berfokus pada *rate of sprayed* dan lama *optimum setting time* pada kondisi sistem perekatan lapis antara (*binder course*) dan lapis aus (*wearing course*). Material *tack coat* yang digunakan adalah aspal emulsi tipe CRS-1 dan CRS-1P. *Optimum setting time* ini diperlukan untuk mendapatkan kinerja perekatan yang baik dan efektifitas dalam pelaksanaan pekerjaan *overlay*.

Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur adalah perkerasan yang dilapisi dengan bahan atau aspal, yang dapat berupa perawatan permukaan perkerasan, seperti *bituminous surface treatment* yang umumnya ditemukan pada jalan dengan volume rendah, atau lapis permukaan *hot mix asphalt* (HMA), yang umumnya digunakan pada jalan dengan volume lalu lintas tinggi. Jenis perkerasan ini disebut “fleksibel” karena struktur perkerasan total mengalami *bends* atau *deflects* akibat beban lalu lintas. Struktur perkerasan lentur umumnya terdiri atas beberapa lapisan bahan yang dapat mengakomodasi “pelenturan” ini (AASHTO, 1993).

Perkerasan lentur terdiri atas lapis permukaan material beraspal, lapis pondasi, dan lapis pondasi bawah. Bahan beraspal tersebut memungkinkan terjadinya deformasi plastis yang signifikan. Sebagian besar permukaan beraspal dibangun di atas dasar kerikil, meskipun pada beberapa kasus lapisan beraspal pada *full depth asphalt pavement* dibangun langsung di atas tanah dasar. Bergantung pada temperatur penghamparan, campuran beraspal dikategorikan sebagai campuran beraspal panas, campuran beraspal hangat, atau campuran beraspal dingin. Perkerasan lentur dinamakan demikian karena permukaan perkerasan mencerminkan defleksi total semua lapisan berikutnya akibat beban lalu lintas yang bekerja padanya. Desain perkerasan lentur didasarkan pada karakteristik distribusi beban pada sistem berlapis (Jamal, 2017).

Pelapisan Ulang

Pekerjaan pelapisan ulang dilakukan sebagai upaya pemeliharaan atau perbaikan perkerasan jalan yang mengalami kerusakan, seperti adanya lubang, gelombang, retak, dan permukaan yang tidak rata (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2020). Repetisi beban kendaraan yang terjadi pada permukaan perkerasan akan memengaruhi kinerja perkerasan jalan, dan adanya kerusakan pada perkerasan jalan juga akan menurunkan kinerja jalan tersebut. Untuk mencegah kerusakan yang lebih parah, perlu dilakukan upaya perbaikan sedini mungkin sebelum melakukan perbaikan dan pemeliharaan perkerasan jalan. Selain itu, perlu dilakukan pemantauan dan evaluasi terhadap perkerasan jalan, untuk mengetahui metode penanganan perkerasan yang tepat. Pekerjaan evaluasi ini terdiri atas 3 macam aktivitas, yaitu melakukan survei kerusakan dan kondisi, melakukan penilaian terhadap karakteristik fungsional, yaitu kualitas berkendara dan kekasaran permukaan, dan melakukan uji struktur perkerasan.

Lapis Perekat

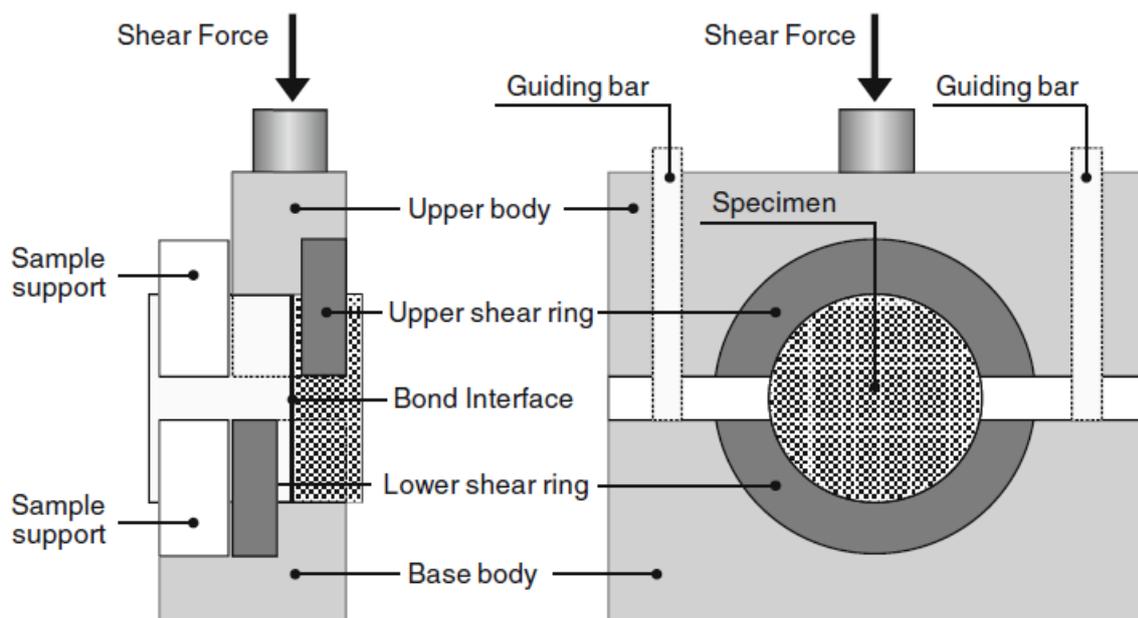
Lapis Perekat (*tack coat*) adalah aplikasi material mengandung aspal pada permukaan perkerasan yang relatif tidak menyerap, yang dapat memberikan ikatan menyeluruh antara lapis perkerasan lama dan lapis perkerasan aspal baru (ASTM, 2004). Ikatan *interface* yang memadai antara *overlay* HMA dan lapisan perkerasan di bawahnya sangat penting untuk kinerja perkerasan yang memuaskan. Tujuan utama penggunaan lapis perekat adalah untuk memberikan ikatan rekat yang diperlukan antara lapisan perkerasan yang

berdekatan, untuk memastikan bahwa keseluruhan lapisan perkerasan berperilaku sebagai sistem monolitik, yang mampu menahan beban lalu lintas dan pengaruh lingkungan.

Pemberian material lapis perekat yang berlebihan dapat melemahkan *interface* dengan terbentuknya bidang gelincir, yang akan menjadikan selip geser. Hal tersebut dapat menyebabkan kesulitan pemadatan selama konstruksi karena pergerakan lapisan HMA di bawah beban pemadat yang berat. Penggunaan lapis perekat yang berlebihan dapat berpindah ke dasar lapisan HMA *overlay*, yang memengaruhi sifat campuran selama konstruksi. Lapis perekat yang tidak memadai dapat mengakibatkan tegangan tarik tinggi di bagian bawah *overlay*, karena resistansi geser *interface* yang buruk (Asphalt Institute, 2009). Beberapa studi menunjukkan bahwa jumlah optimal lapis perekat tidak hanya bergantung pada sifat-sifat pengikat aspal residual, tetapi juga pada karakteristik permukaan perkerasan, sifat campuran, temperatur, dan beberapa faktor lain (Canestrari, 2005).

Pengujian Kuat Geser

Pengujian geser langsung pada penelitian ini menggunakan alat *Leutner Shear Test*, yang dikembangkan di Jerman pada akhir tahun 1970an untuk mengukur kekuatan ikatan *interface* antara 2 lapisan beraspal. Prinsip pengujian ini adalah untuk menerapkan laju perpindahan geser konstan di antarmuka dan memantau gaya geser yang dihasilkan. Tidak ada gaya normal yang diterapkan pada pengujian. Beban diterapkan dengan bantuan mesin uji *universal*. Pengujian ini dihentikan ketika perpindahan geser mencapai batas 15 mm. Pada pengujian ini digunakan benda uji berdiameter hingga 150 mm. Celah 5 mm diberikan antara cincin geser atas dan bawah. Jarak 5 mm ini menjaga agar sedikit ketidaksempurnaan untuk mencegah penghancuran agregat langsung saat proses pengujian. (lihat skema alat yang terdapat pada Gambar 1).



Gambar 1 Skema Alat Kuat Geser Leutner

Pengujian geser dilakukan baik dalam konfigurasi geser langsung murni atau konfigurasi geser langsung dengan tegangan normal. Dalam uji geser langsung benda uji diberi gaya geser dengan laju konstan sekitar 50 mm/menit, yang diterapkan melintasi bidang yang telah ditentukan sebelumnya. Gaya geser yang dihasilkan serta perpindahan dapat ditampilkan pada monitor. Pengujian ini menghasilkan kurva perpindahan gaya geser pada bidang yang diteliti. Tegangan geser dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$t = \frac{4 \times F}{\pi \times D^2} \quad (1)$$

dengan:

t = shear stress (MPa)

F = shear force (N)

D = diameter benda uji (mm).

Pengujian *shear strength* pada lapis perekat dapat juga dilakukan dengan menggunakan sampel aspal geser langsung yang dimodifikasi (Sompie dan Pangemanan, 2018). Pengujian kuat geser lapis perekat ini dilakukan dengan menggunakan peralatan geser langsung yang dimodifikasi. Alat uji diletakkan di dasar kotak geser, kemudian kotak geser digeser secara manual. Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan kecepatan kendaraan sebesar 40 km/j, dengan beban kendaraan berupa beban standar untuk *single axle load*, yaitu sebesar 8160 kg. Pergeseran sampel uji pada lapisan antarmuka diukur atau dibaca pada *proving ring*. Pembacaan kuat geser lapis perekat terlihat ketika sampel uji tidak lagi memberikan tahanan geser, yang ditunjukkan dengan jarum berhenti pada *proving ring*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan melakukan desain campuran untuk lapis AC-BC dan AC-WC, yang akan direkatkan dengan menggunakan lapis perekat. Bahan dasar untuk kedua lapisan ini adalah aspal dan agregat. Bahan aspal yang dipilih adalah aspal PG 76 untuk lapis AC-WC dan AC 60-70 untuk lapis AC-BC. Agregat yang digunakan adalah agregat pecah yang sudah memenuhi persyaratan Spesifikasi Jalan dan Jembatan Bina Marga 2018 revisi 2 (2020), dengan gradasi target sesuai spesifikasi. Desain campuran menggunakan metode Marshall dan diperoleh kadar aspal optimum untuk masing-masing campuran.

Langkah selanjutnya adalah pembuatan benda uji untuk penentuan *rate of sprayed* dan *optimum setting time* lapis perekat. Bahan lapis perekat yang digunakan adalah aspal emulsi jenis CRS-1 dan CRS-1P. Benda uji dipersiapkan dengan 3 variasi *rate of sprayed*, yaitu 0,25; 0,35; dan 0,45 l/m² untuk masing-masing jenis lapis perekat, dengan 5 variasi *setting time*, yaitu 15, 30, 45, 60 dan 75 menit untuk masing-masing jenis material lapis perekat dan masing-masing *rate of sprayed*. Pembuatan benda uji dilakukan dengan cetakan Marshall yang sudah dimodifikasi, sehingga dapat dicetak benda uji buji sesuai kebutuhan

penelitian. Pembuatan benda uji dilakukan dengan pembuatan benda uji lapis pertama dengan jenis campuran untuk lapis AC-BC, selanjutnya bahan lapis perekat diaplikasikan pada permukaan lapis pertama ini sesuai dengan *rate of sprayed*. Selanjutnya ditunggu sesuai dengan *setting time* yang ditentukan dan lapis kedua dimasukkan dalam mold dan dipadatkan sampai tingkat kepadatan sesuai dengan desain.

Selanjutnya terhadap benda uji padat 2 lapis dilakukan pengujian *shear strength* dengan menggunakan alat uji *shear* Leutner (Gambar 1). Besarnya *shear strength* selanjutnya digunakan untuk menganalisis optimum *rate of sprayed* dan optimum *setting time*. Sebagai tolok ukur besarnya *shear strength* adalah dengan menghitung besaran *shear stress* pada *interface layer* antara AC-WC dengan AC-BC dengan sistem perkerasan lentur, menggunakan perangkat lunak BISAR.

HASIL DAN ANALISIS

Hasil Perancangan Campuran Lapis AC-BC dan AC-WC

Dari hasil perancangan campuran untuk lapis pertama, yaitu lapis AC-BC, dengan gradasi agregat target pada *mid-range* gradasi AC-BC sesuai Spesifikasi Jalan dan Jembatan Bina Marga 2018 Revisi 2 (2020) dan aspal jenis AC 60-70, diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,80%. Sementara, untuk lapis kedua, yaitu lapis AC-WC, dengan gradasi agregat target pada *mid-range* gradasi AC-WC sesuai Spesifikasi Jalan dan Jembatan Bina Marga 2018 Revisi 2 (2020) dan aspal jenis PG 76, memberikan KAO sebesar 6,70%.

Hasil dan Analisis Pengujian Geser

Benda uji terdiri atas 2 lapisan perkerasan, yaitu Laston AC-WC dan Laston AC-BC, dengan lapis perekat diterapkan pada bagian *interface* untuk memberikan ikatan antara kedua lapisan tersebut. Benda uji tersebut diuji dengan memberikan pembebanan pada bagian antarlapisan, untuk mengetahui kuat geser yang dimiliki. Hasil pengujian kuat geser dapat dilihat pada Tabel 1.

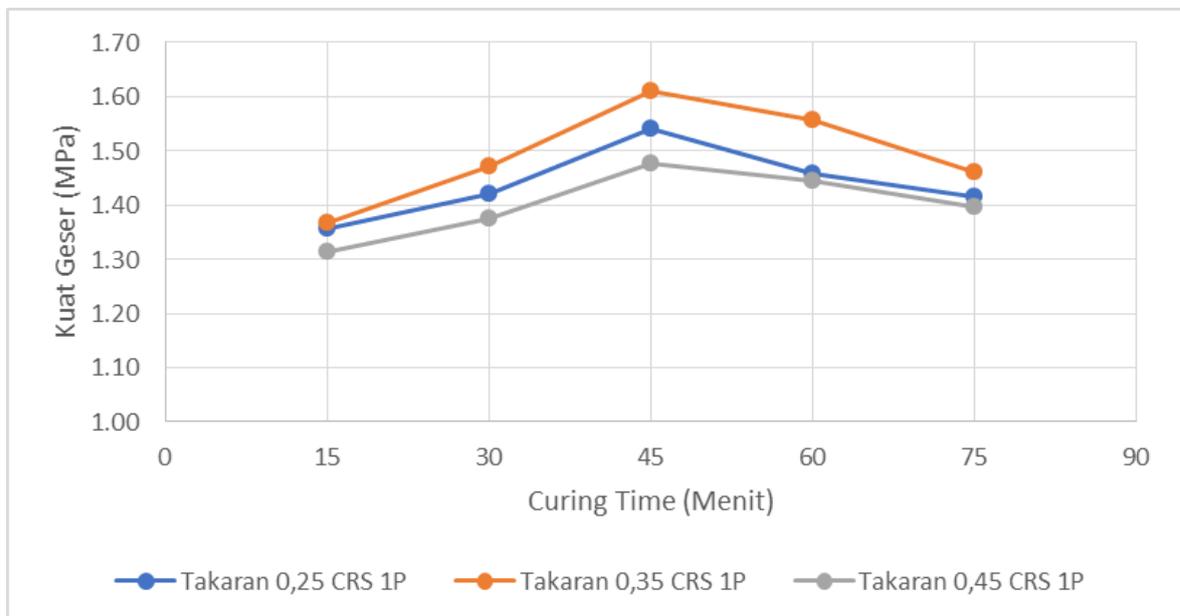
Dari data hasil uji kuat geser yang didapat, variasi *curing time* dan sebaran *tack coat* yang optimum untuk digunakan sebagai lapis perekat adalah pada *curing time* 45 menit dan *rate of sprayed* 0,35 l/m², karena pada nilai maksimum kondisi perkerasan sudah terjadi deformasi yang besar (lihat Gambar 2 dan Gambar 3).

Berdasarkan Gambar 2 dan Gambar 3 dapat dijelaskan bahwa seiring lamanya *curing time* aplikasi lapis perekat aspal emulsi jenis CRS-1P dan CRS-1 terjadi peningkatan kuat geser, hingga puncak kuat geser terjadi pada *curing time* sekitar 45 menit, yaitu 1,61 MPa untuk CRS-1P dan 1,39 MPa untuk CRS-1, kemudian setelah mencapai titik puncak terjadi penurunan kuat geser seiring lamanya *curing time* yang diberikan pada lapis perekat. Selain itu, seiring pertambahan *rate of sprayed* aplikasi lapis perekat, terjadi peningkatan kuat geser, hingga puncak kuat gesernya terjadi pada *rate of sprayed* aplikasi 0,35 l/m³, kemudian setelah mencapai titik puncak terjadi penurunan kuat geser seiring dengan penambahan

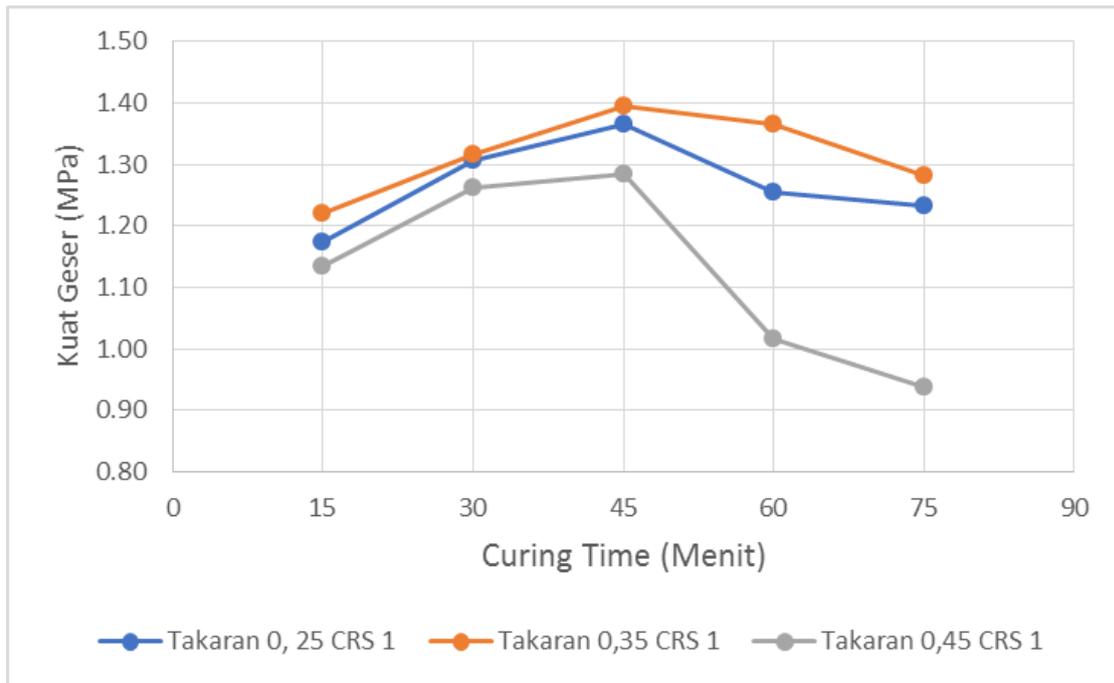
jumlah lapis perekat. Penurunan kuat geser ketika *rate of sprayed* aplikasi optimum tercapai, menyatakan bahwa aspal, yang semula berfungsi sebagai pengikat antarlapisan, pada titik tertentu apabila digunakan secara berlebihan akan berubah menjadi pelicin, sehingga terjadi bidang gelincir antarlapisan. Apabila dilakukan komparasi antara kedua aspal emulsi yang digunakan sebagai lapis perekat, penggunaan aspal emulsi jenis CRS-1P memiliki kuat geser yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan aspal emulsi jenis CRS-1.

Tabel 1 Hasil Pengujian Geser

<i>Rate of Sprayed</i> (l/m ²)	<i>Curing Time</i> (menit)	Kuat Geser CRS 1 (MPa)	Kuat Geser CRS 1P (MPa)	<i>Displacement</i> CRS 1 (mm)	<i>Displacement</i> CRS 1P (mm)
0,25	15	1,36	1,17	2,40	2,21
	30	1,42	1,31	2,48	2,38
	45	1,54	1,37	2,50	2,49
	60	1,46	1,25	2,39	2,42
	75	1,42	1,23	2,28	2,30
0,35	15	1,37	1,22	2,18	2,31
	30	1,47	1,32	2,22	2,42
	45	1,61	1,39	2,67	2,56
	60	1,56	1,37	2,30	2,39
	75	1,46	1,28	2,22	2,33
0,45	15	1,31	1,14	2,18	2,41
	30	1,38	1,26	2,24	2,48
	45	1,48	1,28	2,33	2,60
	60	1,44	1,02	2,31	2,40
	75	1,40	0,94	2,10	1,81



Gambar 2 Hasil Pengujian Kuat Geser Lapis Perekat CRS-1P



Gambar 3 Hasil Pengujian Kuat Geser Lapis Prekat CRS-1

Hasil dan Analisis Program BISAR 3.0

Pemodelan digunakan asumsi *full bonding* (FB) dan *full slip* (FS), pembebanan kendaraan dengan konfigurasi roda *single axle dual wheel*, dengan pembebanan arah vertikal (beban kendaraan) dan arah horizontal (beban saat pengereman). Hasil pemodelan pada struktur perkerasan lentur menggunakan perangkat lunak BISAR 3.0 dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2 Nilai *Shear Stress* dan *Displacement* Pembebanan Standar

Depth (m)	Pembebanan Standar 80 KN			
	FB		FS	
	<i>Shear Stress</i> (MPa)	<i>Displacement</i> (10 ⁻² mm)	<i>Shear Stress</i> (MPa)	<i>Displacement</i> (10 ⁻² mm)
0,05	0,2753	5,704	0,3687	4,729
0,12	0,2711	4,727	0,2717	4,709
0,19	0,1568	4,095	0,1562	4,097
0,59	0,1050	2,885	0,1048	2,885

Tabel 3 Nilai *Shear Stress* dan *Displacement* Pembebanan *Overload*

Depth (m)	Pembebanan Standar 80 KN			
	FB		FS	
	<i>Shear Stress</i> (MPa)	<i>Displacement</i> (10 ⁻² mm)	<i>Shear Stress</i> (MPa)	<i>Displacement</i> (10 ⁻² mm)
0,05	0,4638	7,041	0,5609	7,119
0,12	0,3316	5,909	0,3396	5,911
0,19	0,1960	5,119	0,1953	5,121
0,59	0,1313	3,606	0,1310	3,606

Tegangan geser yang didapat dari pemodelan yang menggunakan program BISAR 3,0 untuk lapis perekat pada kedalaman 5 cm, sesuai dengan ketebalan lapis AC-WC, dengan beban standar konfigurasi roda *single axle dual wheel* 80 kN, menghasilkan tegangan geser maksimum pada kondisi FB sebesar 0,2753 MPa dan pada kondisi FS sebesar 0,3687 MPa. Sedangkan untuk beban *overload* dengan konfigurasi roda *single axle dual wheel* 100 kN menghasilkan tegangan geser maksimum pada kondisi FB sebesar 0,4638 MPa dan pada kondisi FS sebesar 0,5609 MPa. *Shear strength* pada kondisi pembebanan *single axle dual wheel* menggunakan beban *overload* 100 kN pada keadaan FS, yaitu 0,5609 MPa, ditentukan sebagai *interface shear strength* minimum.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji *shear strength* dan pemodelan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak BISAR-3.0, direkomendasi *rate of sprayed* optimum aplikasi lapis perekat menggunakan aspal emulsi. Untuk lapis perekat aspal emulsi jenis CRS-1P, *rate of sprayed* adalah 0,35 l/m² dan *curing time* 45 menit, dengan kuat geser sebesar 1,61 MPa (lebih besar dari 0,5609 MPa). Sedangkan untuk lapis perekat aspal emulsi CRS-1, *rate of sprayed* adalah 0,35 l/m² dan *curing time* 45 menit, dengan kuat geser sebesar 1,39 Mpa (lebih besar dari 0,5609 MPa).

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). 1993. *Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, DC.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2004. *Standard Terminology Relating to Materials for Roads and Pavements. Vol. 04.03: Annual Book of ASTM Standards*. ASTM D8-02. West Conshohocken, PA.
- Asphalt Institute. 2009. *A Basic Asphalt Emulsion Manual*. 4th Ed. Manual Series 19. Lexington, KY.
- Canestrari, F. 2005. *Temperature Effects on the Shear Behavior of Tack Coat Emulsions Used in Flexible Pavements*. *International Journal of Pavement Engineering*, 6 (1): 39–46.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2020. *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.
- Jamal, H. 2017. *Flexible Pavement Definition and Explanation*. (Online), (<https://www.aboutcivil.org/flexible-pavement-road.html>, diakses 20 Desember 2021).
- Shell. 1998. *BISAR-PC, Release 3.0, User Manual*. Bitumen Business Group. Shell International Oil Products B.V. The Hague.

- Sompie, T.P.F. dan Pangemanan, S. 2018. *Shear Strength of Tack Coat on Flexible Pavement and Composite Pavement*. Journal of the Civil Engineering Forum, 4 (2): 121–126. (Online), (<http://dx.doi.org/10.22146/jcef.31945>).
- Tashman, L.K. 2006. *Evaluation of the Influence of Tack Coat Construction Factors on the Bond Strength between Pavement Layers*. WA-RD 645.1. Washington State Department of Transportation. Olympia, WA.
- Wang, H., Xu, G., Wang, Z., and Bennert, T. 2017. *Flexible Pavement Interface Bonding: Theoretical Analysis and Shear-Strength Measurement*. Journal of Testing and Evaluation, 46 (1): 99-107. (Online), (<https://doi.org/10.1520/jte20160288>).