

PENGARUH SERBUK BAN KARET TERHADAP KUAT GESER PADA LAPISAN AC-WC DAN LAPISAN AC-BC

Caesar Dicky Kurniawan
MSTT FT UGM
Jln. Grafika 2, Kampus UGM
Sleman 55281
aesardickykurniawan@mail.ugm.ac.id

Suryo Hapsoro Tri Utomo
MSTT FT UGM
Jln. Grafika 2, Kampus UGM
Sleman 55281
suryohapsoro@ugm.ac.id

Agus Taufik Mulyono
MSTT FT UGM
Jln. Grafika 2, Kampus UGM
Sleman 55281
agus.taufik.mulyono@ugm.ac.id

Abstract

Bonding conditions between layers that are not ideal in a pavement structure will not produce optimal pavement performance, because the pavement does not behave as a monolithic pavement structure. The use of a tack coat is very important to support the ability of the road pavement, thereby improving road performance. This study was conducted to analyze the shear strength at the interface of the AC-WC pavement layer and the AC-BC pavement layer due to the use of rubber tire powder and variations in the dosage of CRS-1 and CRS-1P tack coats. In this study, the dosage of tack coat used varied from 0.25 l/m² to 0.35 l/m². Shear strength was measured using the Leutner Shear Test. This study shows that the use of rubber tire powder does not increase the shear strength of the tack coat for both types of mixtures AC-WC and AC-BC. The biggest shear strength is actually produced by mixtures that do not use rubber tire powder. For the AC-WC asphalt mixture, the largest shear strength was produced by the AC-WC asphalt mixture with a distribution of 0.3 l/m² of tack coat, while for the AC-BC asphalt mixture, the largest shear strength was also found in the mixture with 0.3 l/m² tack coat distribution.

Keywords: road pavement; tack coat; shear strength; interfaces; rubber tire powder; asphalt mixture

Abstrak

Kondisi lekatan antarlapisan yang tidak ideal pada suatu struktur perkerasan, tidak akan menghasilkan kinerja perkerasan yang optimal, karena perkerasan tidak berperilaku sebagai suatu struktur perkerasan yang monolitik. Penggunaan lapis perekat sangat penting untuk mendukung kemampuan perkerasan jalan, sehingga meningkatkan kinerja jalan. Studi ini dilakukan untuk menganalisis kuat geser pada *interface* lapisan perkerasan AC-WC dan lapisan perkerasan AC-BC akibat penggunaan serbuk ban karet dan variasi takaran lapis perekat CRS-1 dan CRS-1P. Pada studi ini takaran lapis perekat yang digunakan bervariasi, mulai dari 0,25 l/m² hingga 0,35 l/m². Kuat geser diukur dengan menggunakan alat Leutner Shear Test. Studi ini menunjukkan bahwa penggunaan serbuk ban karet tidak meningkatkan kuat geser pada penggunaan lapis perekat untuk kedua jenis campuran beraspal AC-WC dan AC-BC. Kuat geser terbesar justru dihasilkan oleh campuran-campuran yang tidak menggunakan serbuk ban karet. Untuk campuran beraspal AC-WC, kuat geser terbesar dihasilkan oleh campuran beraspal AC-WC dengan sebaran lapis perekat sebanyak 0,3/m², sedangkan untuk campuran beraspal AC-BC, kuat geser terbesar juga terdapat pada campuran dengan sebaran lapis perekat 0,3/m².

Kata-kata kunci: perkerasan jalan; lapis perekat; kuat geser; interface; serbuk ban karet; campuran beraspal

PENDAHULUAN

Perkerasan jalan merupakan suatu yang sangat penting karena berfungsi untuk menyebarkan beban kendaraan ke tanah dasar. Agar perkerasan jalan dapat menyebarkan

beban dengan baik, perkerasan jalan harus mempunyai *bearing strength* yang cukup. Kekuatan suatu konstruksi pada lapis perkerasan, terutama pada perkerasan lentur, akan bergantung pada lapisan lainnya, akibat adanya gaya dukung antarlapisan. Ikatan antarlapisan tersebut sangat penting bagi kinerja suatu sistem perkerasan *multilayer*, agar dapat dihasilkan pelayanan jalan yang optimal. Ketidakmampuan atau kegagalan ikatan antarlapisan menyebabkan slip di antara lapisan perkerasan, yang mengakibatkan penurunan yang signifikan pada kekuatan geser struktur perkerasan, sehingga membuat perkerasan jalan menjadi lebih rentan terhadap berbagai gangguan, seperti retak, *rutting*, dan lubang (AASHTO, 1993).

Penggunaan lapis perekat (*tack coat*) sangat penting untuk mendukung kinerja suatu perkerasan jalan untuk meningkatkan kemampuan jalan dalam menahan beban vertikal dan beban horizontal dari kendaraan saat melakukan manuver. Peran lapis perekat adalah untuk memberikan ikatan adhesif yang memadai antarlapisan perkerasan, sehingga perkerasan berperilaku sebagai struktur monolitik. Kekuatan geser antarlapisan telah ditemukan sebagai parameter paling mendasar untuk mengekspresikan keefektifan lapis perekat dalam meningkatkan ikatan antarlapisan. Penggunaan lapis perekat yang terlalu sedikit atau penyebaran lapis perekat yang terlalu tipis akan mengakibatkan mudah lepasnya ikatan antarlapisan perkerasan.

Pemberian lapis perekat yang terlalu berlebih dikhawatirkan akan membentuk bidang geser antarlapisan. Karena itu, pemberian lapis perekat dalam jumlah yang tepat akan sangat membantu kinerja antarlapisan perkerasan beraspal. Lamanya waktu ketika bahan pengencer pada material lapis perekat menguap bergantung pada kondisi cuaca, dan waktu ini dikenal dengan istilah *setting time* atau kadangkala disebut juga sebagai *curing time*. Tahanan geser yang dihasilkan oleh lapis perekat terhadap lapisan beraspal akan meningkat sejalan dengan lamanya *curing time* sampai dengan batas waktu tertentu.

Berdasarkan uraian di atas, pada penelitian ini dilakukan analisis kuat geser pada lapisan *interface* perkerasan AC-WC dan perkerasan AC-BC akibat pengaruh variasi kadar serbuk ban karet dan takaran lapis perekat CRS-1 dan lapis perekat CRS-1P dengan variasi sebarannya, sehingga penggunaan lapis perekat memberikan kekuatan perkerasan yang optimum.

Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur merupakan perkerasan yang terbuat dari campuran yang menggunakan bahan pengikat aspal. Lapisan-lapisan pada perkerasan lentur terdiri atas lapisan permukaan, lapisan pondasi, lapisan pondasi bawah, dan lapisan tanah dasar. Lapisan beton aspal dibuat dengan bahan menggunakan bahan agregat dan aspal, dan diolah dengan cara campuran panas (*hotmix*). Asphalt Institute (2009) menyatakan bahwa beton aspal merupakan campuran beraspal panas, yang tersusun dari kombinasi campuran agregat seragam dan dilapisi dengan aspal keras.

Lapis Perekat

Lapis perekat adalah aplikasi material yang mengandung aspal pada permukaan perkerasan yang relatif tidak menyerap yang dapat memberikan ikatan menyeluruh antara permukaan jalan lama dan lapisan permukaan baru (ASTM, 2004). Ikatan *interface* yang memadai antara *overlay* Hot Mix Asphalt (HMA) dan lapisan perkerasan di bawahnya sangat penting untuk mendapatkan 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 lingkungan.

Serbuk Ban Karet

Serbuk karet (*crumb rubber*), atau yang sering disebut dengan “*tire crumb*” atau “*crumb rubber*”, adalah produk yang diperoleh dari ban bekas, dan tidak larut dalam tanah ataupun air tanah. Ban terdiri atas bahan karet atau bahan polimer yang sangat kuat, yang diperkuat dengan serat-serat sintetik dan baja yang sangat kuat, yang menghasilkan suatu bahan yang mempunyai sifat-sifat unik, seperti mempunyai kekuatan tarik yang sangat kuat, fleksibel, dan ketahanan pergeseran yang tinggi (Warith dan Rao, 2006).

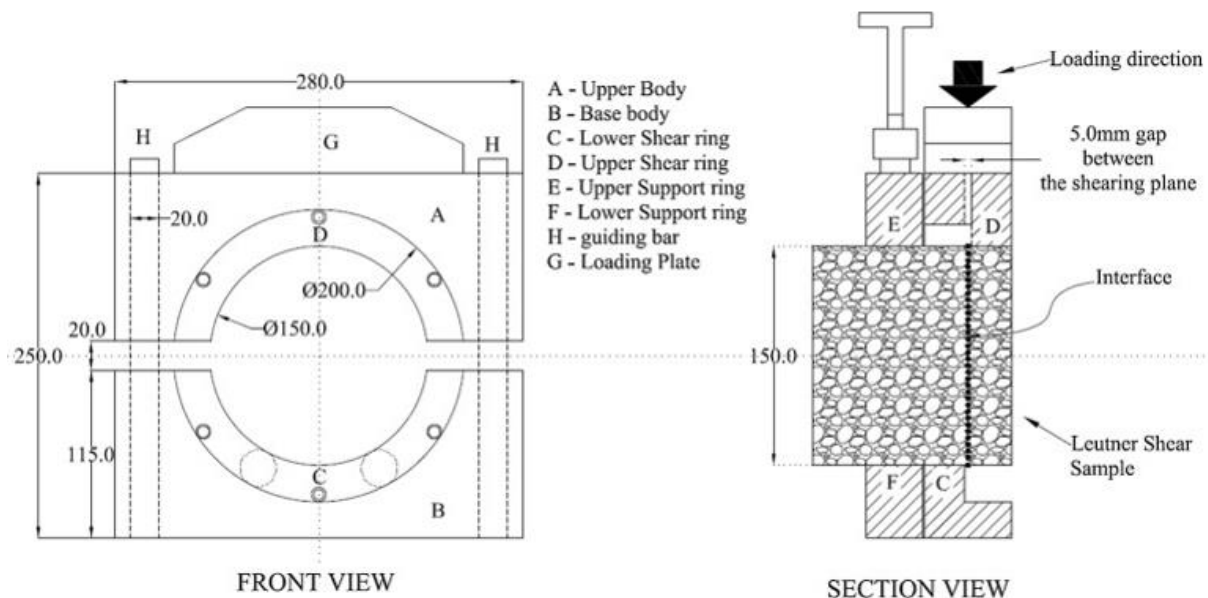
Kekuatan Geser

Kuat geser diartikan sebagai daya ikat antarlapis perkerasan yang memberikan kekuatan untuk melawan pengaruh gaya geser dari beban kendaraan yang bekerja di atasnya (Ramana dan Bisht, 2017). Kekuatan geser adalah resistensi suatu perkerasan dalam menahan tegangan geser dari beban kendaraan yang bekerja di atasnya, yang dipengaruhi oleh kondisi ikatan antar lapis perkerasan. Tegangan geser ini terjadi akibat adanya beban kendaraan yang lewat di atas lapis perkerasan, khususnya pada lokasi tempat kendaraan sering melakukan percepatan dan perlambatan (Sudarsanan et al., 2018). Pembebanan kendaraan yang melewati suatu perkerasan jalan akan mengakibatkan terjadinya tegangan geser dan momen lentur pada lapis perkerasan tersebut, dan pembebanan yang melebihi daya dukung perkerasan akan berakibat terjadinya sejumlah kerusakan. Momen lentur yang terjadi diakibatkan adanya gaya tarik pada tepi bawah lapisan beraspal. Sedangkan tegangan geser terjadi akibat adanya percepatan atau perlambatan laju kendaraan.

Pengujian Kuat Geser

Pengujian geser langsung pada penelitian ini menggunakan alat Leutner Shear Test, yang dikembangkan di Jerman pada akhir 1970-an untuk mengukur kekuatan ikatan *interface* antara dua lapisan beraspal. Uji geser Leutner dapat dianggap sebagai jenis perangkat geser paling awal yang dirancang oleh Leutner untuk menyelidiki kekuatan ikatan antarlapisan perkerasan. Pengoperasian perangkat ini mirip dengan perangkat uji aliran dan stabilitas Marshall. Prinsip pengujian ini adalah 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 Leutner Shear Test. Pengujian dihentikan ketika perpindahan geser mencapai batas 15 mm, menggunakan benda uji berdiameter hingga 150 mm. Celah 5 mm diberikan antara cincin geser atas dan cincin geser bawah. Jarak 5 mm ini menjaga agar sedikit ketidaksempurnaan untuk mencegah penghancuran agregat langsung saat proses pengujian. Pengujian kuat geser lapis perekat dilakukan dengan menggunakan alat geser langsung yang disebut Leutner Shear Test, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Leutner Shear Test (Sudarsanan et al., 2018)

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

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

dengan:

t = shear stress (MPa)

F = shear force (N)

d = diameter benda uji (mm)

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen di laboratorium, yang dilakukan dengan cara percobaan terhadap benda uji yang akan diteliti secara langsung. Penelitian dilakukan di laboratorium transportasi Universitas Gadjah Mada.

Pada studi ini dibuat benda-benda uji, yang mana pada benda-benda uji tersebut dilakukan pengujian kuat geser antara lapisan AC-WC dan AC-BC. Benda-benda uji tersebut dibuat dengan menggunakan variasi serbuk ban karet dan lapis perekat jenis CRS-1 dan CRS-1P.

HASIL DAN ANALISIS

Pengujian Marshall untuk Penentuan KAO

Pengujian Marshall menghasilkan data karakteristik perkerasan, yaitu *Density*, *Void in the Mineral Aggregate (VMA)*, *Void In the Mix (VITM)*, *Void Filled With Asphalt (VFWA)*, *Marshall Stability*, dan *Marshall Flow*. Karakteristik Marshall tersebut digunakan sebagai dasar penentuan nilai kadar aspal optimum (KAO) yang dianalisis berdasarkan metode *narrow range*. Hasil pengujian karakteristik Marshall Campuran AC-WC dan Campuran AC-BC, dengan variasi kadar aspal yang telah ditentukan, dapat dilihat pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 6.

Tabel 1 Hasil Pengujian Marshall Campuran AC-WC dengan Kadar Serbuk Ban Karet 0%

Kriteria	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
		5	5,5	6	6,5	7
Density	- gr/cm ³	2,311	2,327	2,342	2,348	2,345
VMA	> 15 %	16,40	16,27	16,16	16,38	16,94
VITM	3-5 %	8,31	6,99	5,67	4,72	4,15
VFWA	> 65 %	49,32	57,03	64,91	71,21	75,52
Stabilitas	> 800 kg	1260,08	1367,24	1462,14	1441,98	1291,67
Flow	2-4 mm	3,32	3,38	3,56	3,87	4,35
MQ	- kg/mm	379,46	404,12	410,72	372,75	297,24

Tabel 2 Hasil Pengujian Marshall Campuran AC-WC dengan Kadar Serbuk Ban Karet 25%

Kriteria	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
		5	5,5	6	6,5	7
Density	- gr/cm ³	2,293	2,311	2,323	2,330	2,339
VMA	> 15 %	17,06	16,83	16,84	17,02	17,16
VITM	3-5 %	7,63	6,20	5,03	4,05	3,01
VFWA	> 65 %	55,25	63,13	70,11	76,23	82,48
Stabilitas	> 800 kg	1210,49	1279,23	1338,85	1328,21	1208,68
Flow	2-4 mm	3,60	3,63	3,89	4,23	4,99
MQ	- kg/mm	336,04	353,85	344,46	315,96	242,69

Hasil dan Analisis Pengujian Geser

Pengujian kuat geser dilakukan terhadap benda uji yang terdiri atas 2 lapisan perkerasan, yaitu Laston AC-WC dan Laston AC-BC, yang diaplikasikan lapis perekat pada bagian *interface* untuk memberikan ikatan antara kedua lapisan tersebut. Kemudian benda uji tersebut diuji dengan memberikan pembebanan pada bagian antarlapisan, untuk mengetahui kuat geser yang dimiliki. Hasil pengujian kuat geser dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 3 Hasil Pengujian Marshall Campuran AC-WC dengan Kadar Serbuk Ban Karet 50%

Kriteria	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
		5	5,5	6	6,5	7
Density	- gr/cm ³	2,252	2,277	2,298	2,301	2,299
VMA	> 15 %	18,51	18,04	17,74	18,05	18,56
VITM	3-5 %	7,36	5,67	4,15	3,34	2,76
VFWA	> 65 %	60,26	68,58	76,60	81,50	85,17
Stabilitas	> 800 kg	850,88	986,05	1036,36	1030,43	893,33
Flow	2-4 mm	3,49	3,68	3,93	4,23	4,77
MQ	- kg/mm	243,63	267,71	263,98	243,74	187,59

Tabel 4 Hasil Pengujian Marshall Campuran AC-BC dengan Kadar Serbuk Ban Karet 0%

Kriteria	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
		5	5,5	6	6,5	7
Density	- gr/cm ³	2,348	2,357	2,367	2,373	2,384
VMA	> 15 %	15,04	15,17	15,25	15,49	15,58
VITM	3-5 %	6,76	5,70	4,59	3,65	2,52
VFWA	> 65 %	55,07	62,40	69,91	76,46	83,86
Stabilitas	> 800 kg	1250,55	1353,00	1414,50	1364,67	1265,36
Flow	2-4 mm	3,493	3,627	3,854	4,160	4,767
MQ	- kg/mm	348,49	367,55	361,99	322,56	253,60

Tabel 5 Hasil Pengujian Marshall Campuran AC-BC dengan Kadar Serbuk Ban Karet 25%

Kriteria	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
		5	5,5	6	6,5	7
Density	- gr/cm ³	2,317	2,331	2,346	2,354	2,356
VMA	> 15 %	16,16	16,12	16,03	16,19	16,56
VITM	3-5 %	6,69	5,47	4,18	3,15	2,37
VFWA	> 65 %	58,61	66,07	73,94	80,56	85,71
Stabilitas	> 800 kg	1204,85	1279,23	1341,42	1318,79	1171,50
Flow	2-4 mm	3,597	3,683	3,907	4,230	4,990
MQ	- kg/mm	346,58	352,71	347,40	319,42	253,58

Tabel 6 Hasil Pengujian Marshall Campuran AC-BC dengan Kadar Serbuk Ban Karet 50%

Kriteria	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
		5	5,5	6	6,5	7
Density	- gr/cm ³	2,298	2,311	2,325	2,333	2,335
VMA	> 15 %	16,86	16,84	16,77	16,92	17,32
VITM	3-5 %	6,53	5,33	4,07	3,04	2,31
VFWA	> 65 %	61,31	68,34	75,73	82,03	86,68
Stabilitas	> 800 kg	807,57	837,87	923,41	944,48	872,01
Flow	2-4 mm	3,653	3,780	3,974	4,310	5,027
MQ	- kg/mm	221,10	221,63	232,38	219,18	173,49

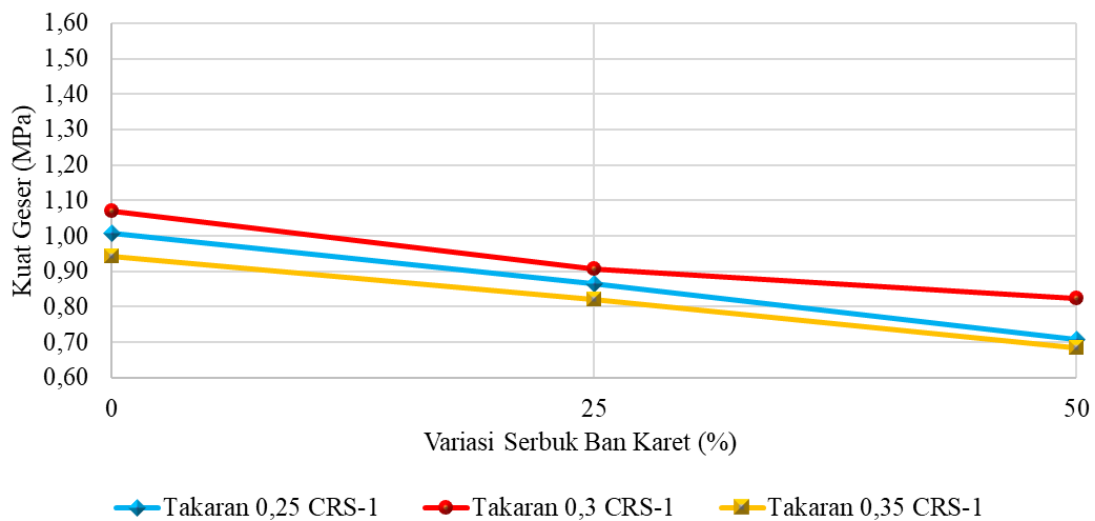
Berdasarkan hasil uji kuat geser campuran dengan berbagai variasi serbuk ban karet sebagai pengganti agregat halus No. 30, terlihat bahwa campuran tanpa menggunakan serbuk ban karet dan dengan menggunakan takaran lapis perekat 0,3 l/m² memberikan kuat geser yang terbesar (lihat Tabel 7 dan Tabel 8). Dengan demikian, takaran lapis perekat yang optimum untuk digunakan adalah 0,3 l/m².

Tabel 7 Hasil Pengujian Geser Lapis Perekat CRS-1 dengan Variasi Serbuk Ban Karet

Takaran (l/m ²)	Variasi Serbuk Ban Karet (%)	Kuat Geser (MPa)
0,25	0	1,01
	25	0,87
	50	0,71
0,3	0	1,07
	25	0,91
	50	0,82
0,35	0	0,94
	25	0,82
	50	0,68

Tabel 8 Hasil Pengujian Geser Lapis Perekat CRS-1P dengan Variasi Serbuk Ban Karet

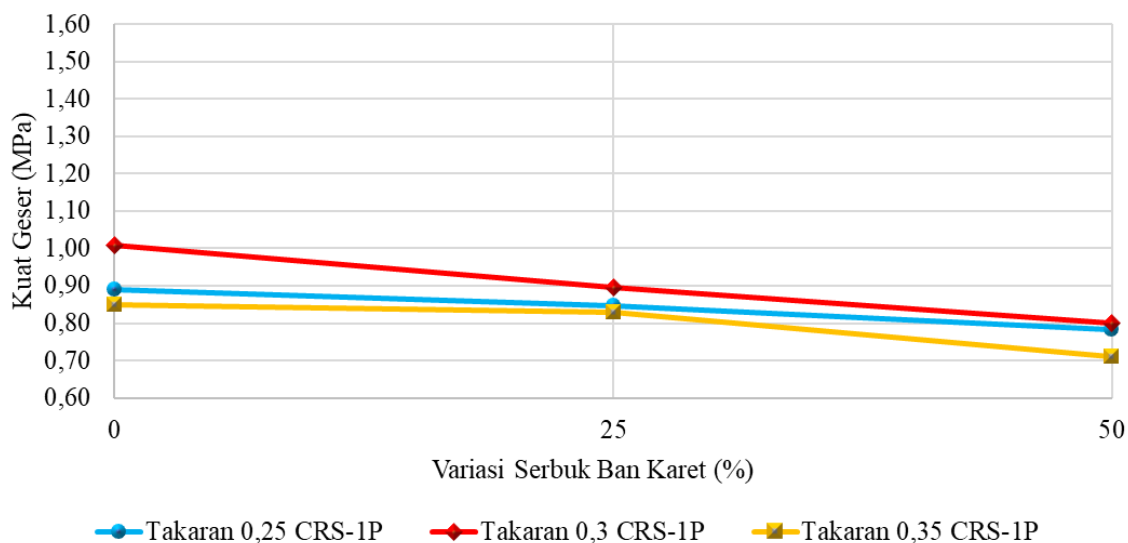
Takaran (l/m ²)	Variasi Serbuk Ban Karet (Menit)	Kuat Geser (Mpa)
0,25	0	0,89
	25	0,85
	50	0,78
0,3	0	1,01
	25	0,90
	50	0,80
0,35	0	0,85
	25	0,83
	50	0,71



Gambar 2 Hasil Pengujian Kuat Geser Lapis Perekat CRS-1

Berdasarkan Gambar 2 dan Gambar 3 dapat dijelaskan beberapa hal sebagai berikut:

- 1) Seiring dengan bertambahnya variasi serbuk ban karet, terjadi penurunan nilai kuat geser. Hal ini terjadi karena penambahan serbuk ban karet menyebabkan lapis perekat yang fungsinya sebagai lapis pengikat menjadi *bledding* atau licin. Hal ini serupa dengan hasil penelitian Ramana dan Bisht (2017), yang menyatakan bahwa lemahnya interaksi material pengisi serbuk ban karet mengakibatkan lemahnya kekuatan ikatan *interface*. Lemahnya *interface* tersebut terjadi karena tekstur serbuk karet yang halus, yang menyebabkan kecilnya kekuatan *interface*.
- 2) Seiring dengan pertambahan takaran aplikasi lapis perekat aspal emulsi jenis CRS-1P atau jenis CRS-1, terjadi peningkatan kuat geser, hingga puncak kuat gesernya pada takaran aplikasi $0,3 \text{ l/m}^3$. Selanjutnya, setelah titik puncak tercapai, terjadi penurunan kuat geser seiring dengan penambahan takaran lapis perekat tipe CRS-1 atau CRS-1P. Takaran lapis perekat yang terlalu tipis akan menyebabkan daya rekat yang rendah, sedangkan takaran lapis perekat yang terlalu tebal membentuk bidang geser (*slip plane*) di antara lapisan.
- 3) Apabila dilakukan komparasi antara kedua lapis perekat yang digunakan, benda uji dengan lapis perekat tanpa menggunakan serbuk ban karet memiliki kuat geser yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan benda uji dengan lapis perekat yang menggunakan serbuk ban karet.



Gambar 3 Hasil Pengujian Kuat Geser Lapis Perekat CRS-1P

KESIMPULAN

Pada studi ini dikaji penggunaan serbuk ban karet terhadap kuat geser pada lapisan *interface* perkerasan AC-WC dan perkerasan AC-BC dan ditentukan takaran optimum lapis perekat CRS-1 dan lapis perekat CRS-1P. Tujuan penggunaan lapis perekat di sini adalah

untuk memberikan ikatan rekat yang diperlukan antara lapisan-lapisan perkerasan yang berdekatan, sehingga dapat dipastikan bahwa keseluruhan lapisan perkerasan berperilaku sebagai sistem yang *monolitik*, yang mampu menahan beban lalu lintas dan lingkungan.

Untuk mencapai tujuan studi, dipersiapkan benda-benda uji dengan menggunakan serbuk ban karet. Serbuk ban karet tersebut menggantikan sebagian agregat halus yang lolos saringan No. 30. Pengujian kuat geser dilakukan dengan menggunakan alat uji geser langsung yang disebut sebagai Leutner Shear Test.

Berdasarkan uraian dan pembahasan hasil-hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) berdasarkan perhitungan volumetrik dan parameter Marshall campuran. Untuk campuran AC-WC, diperoleh nilai-nilai KAO sebesar 6,48% untuk campuran dengan serbuk ban karet 0%, sebesar 6,15% untuk campuran dengan serbuk ban karet 25%, dan sebesar 6,00% untuk campuran dengan serbuk ban karet 50%. Sedangkan untuk campuran AC-BC, diperoleh nilai-nilai KAO sebesar 5,93% untuk campuran dengan serbuk ban 0%, sebesar 5,88% untuk campuran dengan serbuk ban 25%, dan sebesar 5,78% untuk campuran dengan serbuk ban 50%.

Studi ini menunjukkan bahwa penggunaan serbuk ban karet tidak berhasil meningkatkan kuat geser pada penggunaan lapis perekat untuk campuran beraspal AC-WC dan campuran beraspal AC-BC. Kuat geser terbesar justru terdapat pada kedua jenis campuran yang tidak menggunakan serbuk ban karet atau terdapat pada campuran-campuran dengan kadar serbuk ban karet 0%.

Hasil pengujian kuat geser terhadap campuran beraspal AC-WC dengan kadar serbuk ban karet 0% dan menggunakan lapis perekat aspal emulsi CRS-1 dengan variasi sebaran $0,25 \text{ l/m}^2$ – $0,35 \text{ l/m}^2$, memberikan kuat geser sebesar 0,94 MPa hingga 1,07 MPa. Kuat geser terbesar, yaitu sebesar 1,07 MPa, dihasilkan oleh campuran beraspal AC-WC dengan sebaran lapis perekat sebanyak $0,3/\text{m}^2$.

Pengujian kuat geser terhadap campuran beraspal AC-BC juga memberikan hasil yang serupa dengan pengujian kuat geser terhadap campuran beraspal AC-WC dan menggunakan lapis perekat aspal emulsi CRS-1P menghasilkan kuat geser antara 0,85 MPa hingga 1,01 MPa, dengan sebaran lapis perekat antara $0,25 \text{ l/m}^2$ hingga $0,35 \text{ l/m}^2$. Kuat geser terbesar, yaitu 1,01 MPa, terdapat pada campuran beraspal AC-BC dengan sebaran lapis perekat $0,3/\text{m}^2$.

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). 1993. *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, DC.
- American Society for Testing and Material (ASTM). 2004. *ASTM D8-02: Standard Terminology Relating to Materials for Roads and Pavements*. ASTM D8-02. Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.03. West Conshohocken, PA.

- Asphalt Institute. 2009. *A Basic Asphalt Emulsion Manual, 4th Ed. Manual Series 19*. Lexington, KY.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2018. *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.
- Ramana P.V. dan Bisht, K. 2017. *Evaluation of Mechanical and Durability Properties of Crumb Rubber Concrete*. *Construction and Building Materials*, 155: 811–817.
- Sudarsanan, N., Karpurapu, R., dan Amirthalingam, V. 2018. *An investigation on the Interface Bond Strength of Geosynthetic-Reinforced Asphalt Concrete Using Leutner Shear Test*. *Construction and Building Materials*, 186: 423–437.
- Warith, M.A. dan Rao, S.M. 2006. *Predicting the Compressibility Behaviour of Tire Thread Samples for Landfill Applications*. *Waste Management*, 26: 268–276.