

INTISARI

Kondisi lekatan antar lapisan yang tidak ideal pada suatu struktur perkerasan multilayer tidak bekerja secara optimal jika lapisan perkerasan bertindak tidak sebagai suatu kesatuan struktur perkerasan monolitik, akibatnya ketika terjadi pembebanan oleh kendaraan saat melakukan akselerasi ataupun pengereman lapisan permukaan perkerasan tidak dapat mendistribusikan beban yang diterima secara ideal ke seluruh struktur perkerasan di bawahnya yang mengakibatkan berbagai kerusakan jalan yang berakibat pada penurunan tingkat pelayanan jalan sehingga untuk melakukan membutuhkan biaya perbaikan yang relatif besar.

Penelitian ini dilakukan dalam dua tahapan yaitu pengujian empiris di laboratorium untuk mengetahui kuat geser dan *displacement* pada lapisan *interface* benda uji dengan variasi takaran aplikasi tack coat jenis aspal emulsi CRS 1 dan CRS 1P sebesar 0,2 l/m² hingga 0,6 l/m² menggunakan alat *leutner shear test* dan analisis mekanistik menggunakan *software* BISAR 3.0 untuk menentukan kuat geser minimum yang diizinkan sebagai dasar penentuan takaran aplikasi *tack coat* yang optimum.

Berdasarkan analisis struktur perkerasan lentur menggunakan *software* BISAR 3.0 didapatkan nilai tegangan geser maksimum pada pembebanan *overload* 100 kN yaitu 0,515 MPa yang ditetapkan sebagai kuat geser minimum yang diizinkan. Hasil penelitian ini menunjukkan semua variasi takaran aplikasi *tack coat* yang uji menghasilkan nilai kuat geser lebih besar dari pada kuat geser minimum sehingga takaran aplikasi optimum yang direkomendasikan adalah yang terkecil agar efisien dalam pemakaian yaitu CRS 1 0,2 l/m² menghasilkan kuat geser 0,955 MPa > 0,515 MPa dan untuk CRS 1P 0,2 l/m² menghasilkan kuat geser 0,965 MPa > 0,515 MPa.

Kata Kunci: BISAR 3.0, Tack coat, Kuat Geser, Aplikasi Tack Coat Optimum

ABSTRACT

The bonding condition between layers that is not ideal on a multilayer pavement structure does not work optimally if the pavement layer does not act as a monolithic pavement structure, as a result when a vehicle is loaded when accelerating or braking the pavement surface layer cannot distribute the load that is received ideally to all pavement structures underneath which resulted in various road damages which resulted in a decrease in the level of road services so that to do so requires relatively large repair costs.

This research was conducted in two stages, namely empirical testing in the laboratory to determine the shear strength and displacement of the test specimen interface layers with variations in the dosage of tack coat applications for CRS 1 and CRS 1P emulsion asphalt types of 0.2 l / m² to 0.6 l / m² using a leutner shear test and mechanistic analysis using BISAR 3.0 software to determine the minimum allowable shear strength as a basis for determining the optimum dose of tack coat application.

Based on the analysis of the flexible pavement structure using BISAR 3.0 software, the maximum shear stress value at 100 kN overload loading is 0.515 MPa which is determined as the minimum allowable shear strength. The results of this study indicate that all variations in the dosage of the tack coat application tested produce a shear strength value greater than the minimum shear strength so that the recommended optimum application dosage is the smallest so that it is efficient in use, namely CRS 1 0.2 l / m² resulting in a shear strength of 0.955 MPa. > 0.515 MPa and for CRS 1P 0.2 l / m² the shear strength is 0.965 MPa > 0.515 MPa.

Keywords: BISAR 3.0, Tack coat, Shear Strength, Optimums Tack Coat Application

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan bagian yang sangat penting dan tidak dapat dipisahkan dari kegiatan transportasi. Semakin berkembangnya zaman sangat mempengaruhi perkembangan konstruksi jalan, dengan adanya perkembangan tersebut memudahkan manusia untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Seiring dengan kemajuan teknologi otomotif, kendaraan yang digunakan oleh manusia sebagai sarana transportasi pun makin berkembang dan meningkat baik dalam jumlah, ukuran, dan berat kendaraan yang bervariasi. Meningkatnya volume dan berat kendaraan, retakan permukaan akibat penyusutan, kerusakan jalan ini disebabkan oleh lepasnya butiran agregat terhadap aspal (*Striping*), dan *corrugation* yang disebabkan oleh kurangnya daya lekat dari lapisan perekat menyebabkan makin kurangnya kemampuan jalan untuk menahan beban yang diterimanya.

Ruas jalan di mana kendaraan melakukan akselerasi, deselerasi, mengerem atau berbelok akan mengalami kerusakan lebih parah dibandingkan dengan ruas yang lain (Raab et al., 2009). Misalnya area seperti landasan pacu bandara, gerbang tol dan pos pemeriksaan polisi pengaruh dari tegangan geser horizontal yang berlebihan akibat dari pembebanan oleh kendaraan pada saat melakukan pengereman atau perlambatan (West et al., 2005). Pengereman atau putaran roda sering kali menyebabkan permukaan perkerasan bergeser dan berubah bentuk atau deformasi (“Slippage Cracking,” 2020).

Ikatan antar lapisan sangat penting untuk kinerja suatu sistem perkerasan *multilayer* untuk dapat menghasilkan pelayanan jalan yang optimal. Ikatan antar lapisan yang tidak ideal akan mengakibatkan berbagai kerusakan jalan seperti *slippage cracking*, *premature fatigue cracking*, *top-down cracking*, *delamination* dan *potholes* (Cho et al., 2019). 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 (WSDOT Tack Coat Tech Note, 2020).

Sliding dan deformasi terjadi disebabkan oleh campuran perkerasan memiliki kekuatan yang rendah atau ikatan yang buruk antara lapisan *surface hot mix asphalt* (HMA) dengan lapisan di bawahnya dalam struktur perkerasan. Ketika ikatan permukaan HMA buruk ke lapisan di bawahnya maka lapisan perkerasan di atas dapat meluncur saat kendaraan melewatinya dan setelahnya kerusakan pasti akan menyusul (Mehta, 2008). Kerusakan terjadi akibat perkerasan *surface* tidak dapat mentransfer beban secara efektif ke struktur perkerasan di bawah, lapisan atas yang tergelincir harus menyerap sebagian besar tekanan, yang menyebabkan kerusakan (Nonde, 2014).

Kondisi ikatan lapisan perkerasan memiliki peran penting dalam desain dan konstruksi perkerasan. Kondisi ikatan perlu diperhitungkan untuk memastikan daya dukung yang

diperlukan, kekuatan dan daya tahan perkerasan aspal sangat diperlukan dikarenakan ikatan yang buruk berkontribusi pada tergelincirnya perkerasan terutama pada tempat-tempat di mana kendaraan melakukan pengereman (Vaitkus et al., 2011).

Konfigurasi pengujian yang paling populer untuk penilaian laboratorium kondisi ikatan didasarkan pada pengujian geser langsung antar lapisan. Laju perpindahan geser yang konstan (atau laju pembebanan geser yang konstan) diterapkan pada antarmuka spesimen berlapis ganda hingga terjadi kegagalan antarmuka. Hasil tipikal dari jenis pengujian ini di karakterisasi oleh kekuatan geser. Berbagai jenis peralatan uji geser telah dikembangkan di berbagai negara dan dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori yaitu uji geser langsung murni (tanpa tegangan normal) dan uji geser langsung dengan penerapan tegangan normal (Canestrari et al., 2013).

Penggunaan *tack coat* sangat penting untuk mendukung kinerja suatu perkerasan jalan untuk meningkatkan kemampuan jalan dalam menahan beban vertikal dan horizontal dari kendaraan saat melakukan manuver. Peran *tack coat* adalah untuk memberikan ikatan adhesif yang memadai antar lapisan perkerasan sehingga berperilaku sebagai struktur monolitik (Tashman et al., 2006). Kekuatan geser antar lapisan telah ditemukan sebagai parameter paling mendasar untuk mengekspresikan keefektifan lapisan *tack coat* dalam meningkatkan ikatan antar lapisan (Canestrari, 2005).

Setelah munculnya komputer generasi terbaru, beberapa program komputer linier elastis dikembangkan untuk analisis perkerasan. Tujuan utama dari program komputer ini adalah menghilangkan komputasi yang rumit untuk mendapatkan tegangan, regangan, dan *displacement* dari teori *multilayer* klasik dan mendapatkan solusi mekanistik. BISAR merupakan perangkat lunak yang dikembangkan oleh peneliti Shell diperkenalkan untuk menghitung reaksi struktur *multilayer* dengan bahan elastis linier. BISAR juga menggunakan teori Burmister dan menganalisis banyak kasus pemuatan. Program ini memiliki berbagai keuntungan yang menggunakan moduli elastis yang berbeda, *poisson ratio*, ketebalan lapisan, dan kondisi ikatan *interface* yang ditentukan di setiap lapisan (De Jong, 1973)

Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mendapatkan aplikasi optimum penggunaan *tack coat* jenis aspal emulsi tipe CRS 1 dan CRS 1P sehingga menghasilkan pengaplikasian *tack coat* yang efektif dan efisien dari sisi mutu, waktu dan biaya. Analisis yang dilakukan pada penelitian ini dibagi menjadi dua tahapan yaitu analisis mekanistik menggunakan *software* BISAR 3.0 untuk mendapatkan nilai kuat geser minimum yang diizinkan dan pengujian empiris di laboratorium menggunakan alat *Leutner Shear Test* untuk mendapatkan kuat geser lapisan *interface* pada benda uji yang di berikan variasi aplikasi *tack coat*. Hasil analisis mekanistik dan empiris di laboratorium yang didapatkan digunakan sebagai dasar penentuan takaran aplikasi *tack coat* yang optimum untuk *tack coat* jenis aspal emulsi tipe CRS 1 dan CRS 1P.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dari penelitian ini, penulis merumuskan beberapa hal penting yang dianggap menarik untuk diteliti pada ketahanan geser *tack coat* antara lapisan AC-WC dan AC-BC yaitu:

1. Bagaimanakah Karakteristik campuran LASTON AC-WC dan LASTON AC-BC dengan menggunakan Aspal PG 76 sebagai bahan campuran ?
2. Berapakah kuat geser minimum yang diizinkan pada bagian *interface* perkerasan LASTON AC-WC DAN LASTON AC-BC berdasarkan pemodelan struktur perkerasan lentur saat diberikan pembebanan pada program BISAR 3.0 ?
3. Berapakah takaran aplikasi *tack coat* jenis CRS 1 dan CRS 1P yang optimal pada lapisan AC-WC dan AC-BC?

1.3 Keaslian Penelitian

Penelitian yang berkaitan dengan Analisis *interface shear bond strength* antara lapisan AC-WC dan AC-BC menggunakan tack coat jenis CRS 1 dan CRS 1P adalah sebagai berikut:

- a. Yulianto (2002), melakukan penelitian berjudul tinjauan kuat geser aspal cair dan aspal emulsi sebagai *tack coat* antara *wearing course* dan *binder course* yang menyimpulkan bahwa kuat geser *tack coat* sangat dipengaruhi oleh faktor bahan *tack coat* dan kondisi permukaan perkerasan. Penelitian ini merekomendasikan penggunaan *tack coat* jenis CRS-1 untuk perkerasan baru-baru sebesar 0.3 l/m^2 dan pada perkerasan lama-baru sebesar 0.3 l/m^2 . Penggunaan *tack coat* jenis MC-250 untuk perkerasan baru-baru sebesar 0.3 l/m^2 dan pada perkerasan lama-baru sebesar 0.2 l/m^2 .
- b. Molenaar et al. (1986) menggunakan alat uji geser untuk menentukan ketahanan geser dari *tack coat* pada *interface* lapisan aspal. Perangkat dipasang pada pers standar pemuatan Stabilitas Marshall untuk menerapkan beban pada laju $0,85 \text{ mm / dtk}$. Perangkat ini memegang bagian bawah spesimen silinder yang dipadatkan dan beban geser diaplikasikan tegak lurus terhadap sumbu spesimen lapisan atas.
- c. Mrawira et al. (1999) mengamati kekuatan ikatan *interface* oleh uji geser langsung. Sampel dikumpulkan diambil dari lapangan dari jalan yang masih dalam masa layanan. Benda uji dibuat dalam enam variasi berdasarkan usia jalan. Semua spesimen adalah jenis yang sama mencampur dan jenis bahan yang sama digunakan. Inti dipangkas hingga ketinggian 8 cm ($3,15 \text{ inci}$) dan pada permukaan atas lapisan $0,2$ hingga $0,3 \text{ l/m}^2$ emulsi SS1 diterapkan dengan waktu yang ditetapkan kurang dari satu jam. Saat *tack coat* selesai *curing*, ukuran agregat maksimum nominal 16 mm dipadatkan pada inti dalam dua angkatan dengan 75 pukulan Marshall per angkatan sebagai *overlay*. Spesimen dibiarkan *curing* selama dua minggu pada suhu kamar, kemudian dipotong menjadi ukuran persegi panjang dan ditempatkan dimandi air di

22⁰C (750F) selama tiga puluh menit. Spesimen dicukur dengan gaya *guillotine* mesin pada laju perpindahan konstan 1 mm / menit.

- d. Mohammad et al. (2002) mengevaluasi kekuatan ikatan *tack coat* yang digunakan dalam lapisan *interface* perkerasan aspal dengan menggunakan *Superpave shear tester*. Spesimennya yang dipadatkan hingga 50 mm dan *tack coat* diterapkan dalam lima kategori takaran aplikasi yang berbeda (0,0 hingga 0,9 l / m²), sampel dibiarkan *curing* dan Angkatan kedua ditempatkan di atas dan dipadatkan. Kekuatan ikatan lekat dievaluasi dengan dua pengikat aspal PG (PG 64-2P dan PG 76-22M) dan empat aspal emulsi (CRS-2P, CSS-1, SS-1 dan SS-1h). Tes dilakukan pada dua tes suhu 25⁰C dan 55⁰C (77 dan 131⁰F). Mereka mengamati emulsi CRS-2P sebagai yang terbaik dan suhu uji 25⁰C (77⁰F) memberikan kekuatan geser lima kali lebih banyak dari 55⁰C (131⁰C).

Penelitian yang penulis akan lakukan berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya, adapun perbedaannya adalah terletak pada jenis perkerasan yang digunakan, ketebalan perkerasan, penggunaan jenis dan tipe material *tack coat* serta variasi takaran aplikasi, metode pembuatan benda uji, metode pemadatan, dan metode pengujian geser menggunakan alat uji Marshall modifikasi untuk mendapatkan nilai kuat geser, pemodelan struktur perkerasan lentur menggunakan software BISAR 3.0 menggunakan skenario *full bonding* dan *full slip* untuk menentukan nilai kuat geser minimum yang diizinkan sebagai dasar penentuan takaran aplikasi *tack coat* yang optimum berdasarkan nilai kuat geser dari hasil pengujian.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah seperti berikut:

1. Mengetahui Karakteristik campuran LASTON AC-WC dan LASTON AC-BC dengan menggunakan Aspal PG 76 sebagai bahan campuran LASTON
2. Mengetahui besar kuat geser minimum yang diizinkan pada bagian *interface* perkerasan LASTON AC-WC dan LASTON AC-BC berdasarkan pemodelan struktur perkerasan lentur saat diberikan pembebanan pada program BISAR 3.0.
3. Mengetahui takaran aplikasi *tack coat* aspal emulsi jenis CRS 1 dan CRS 1P yang optimal pada lapisan AC-WC dan AC-BC yang optimum.

Pengujian laboratorium dilakukan dengan menambahkan bahan tambahan terhadap campuran aspal dengan metode Marshall dan mengacu pada spesifikasi yang telah ditentukan oleh Dinas Bina Marga 2018.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan takaran aplikasi *tack coat* aspal emulsi jenis CRS-1 dan CRS-1P yang optimum untuk digunakan pada lapisan perkerasan AC-WC dan AC-BC berdasarkan hasil perbandingan kekuatan geser dari pengujian di laboratorium dan kuat geser minimum yang diizinkan dari pemodelan menggunakan *software* BISAR

3.0. Hasil dari penelitian ini nantinya dapat dimanfaatkan oleh pihak terkait untuk digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam mendesain jalan untuk mengurangi kerusakan jalan akibat tegangan geser dari pengaruh pembebanan kendaraan.

1.6 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

Sesuai dengan tujuan penelitian, maka pada penelitian ini perlu dilakukan beberapa batasan ruang lingkup penelitian. Ruang lingkup penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini adalah penelitian di laboratorium, untuk mengetahui kuat geser penggunaan *tack coat* yang divariasikan terhadap takaran penyebaran, menggunakan *tack coat* jenis aspal emulsi tipe CRS 1 dan CRS 1P pada Benda uji yang terdiri dari LASTON lapis aus (AC-WC) dan LASTON lapis antara (AC-BC).
2. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah perkerasan baru yaitu benda uji yang dibuat di laboratorium. Benda uji terdiri dari dua jenis yaitu benda uji untuk pengujian Marshall untuk mendapatkan nilai KAO dan benda uji geser. Pengujian geser benda uji terdiri dari dua lapisan yaitu lapisan AC-WC dan AC-BC kedua lapisan dibuat dan digabungkan menggunakan cetakan khusus yang telah dimodifikasi.
3. Standar pengujian material campuran aspal, perencanaan benda uji dan perhitungan kadar aspal optimum sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018.
4. Tebal perkerasan yang digunakan pada penelitian ini adalah lapisan LASTON AC-WC 5 cm dan LASTON AC-BC 7 cm.
5. Bahan yang digunakan:
 - a. Aspal *Performance Grade* (PG) 76 produksi PT Shell Indonesia;
 - b. *Tack coat* jenis aspal emulsi tipe CRS 1 dan CRS 1P produksi PT Shell Indonesia;
6. Pemodelan struktur lapis perkerasan lentur menggunakan *software* BISAR 3.0, parameter *input* yang digunakan mengacu pada Manual desain perkerasan jalan 2017 dengan menggunakan asumsi kondisi *full bonding* dan *full slip* pada *interface* perkerasan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Tack coat

Menurut ASTM D8-02, *Tack coat* adalah aplikasi material mengandung aspal pada permukaan perkerasan yang relatif tidak menyerap yang dapat memberikan ikatan menyeluruh antara lama dan baru. permukaan (ASTM, 2004). Ikatan *interface* yang memadai antara *overlay* HMA dan lapisan perkerasan di bawahnya sangat penting untuk kinerja perkerasan yang memuaskan. Tujuan utama penggunaan *tack coat* 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 lalu lintas dan pemuatan lingkungan.

Permukaan perkerasan yang diaplikasikan *tack coat* dapat berupa perkerasan HMA atau PCC. *Tack coat* dapat diterapkan ke permukaan HMA baru segera sebelum penempatan lapisan berikutnya pada permukaan perkerasan yang akan *dioverlay* dalam struktur perkerasan aspal *multilayer*. *Tack coat* yang biasanya digunakan merupakan aspal emulsi berbahan dasar polimer yang dimodifikasi atau tidak dimodifikasi. Pemilihan bahan *tack coat* dalam praktiknya terutama didasarkan pada pengalaman lokal, pertimbangan teknis, atau keduanya. Secara historis, semen aspal berkinerja tinggi atau *performance grade*, aspal *cutback*, dan aspal teremulsi telah digunakan sebagai bahan *tack coat*. Aspal *cutback*, kombinasi dari aspal semen dan destilasi minyak bumi, yaitu minyak tanah atau minyak diesel, biasanya tidak digunakan karena banyak masalah lingkungan dan hilangnya produk berenergi tinggi (Roberts, 1996).

(California Department of Transportation, 2003). Aspal semen *performance grade* tidak populer untuk aplikasi *tack coat*, karena aspal harus cukup cair untuk dapat disemprotkan dan waktu aplikasi yang cepat pada perkerasan untuk menghindari pendinginan yang cepat. Aspal semen biasanya digunakan ketika antar lapisan *geosintetik* digunakan dan untuk *overlay* HMA karet (California Department of Transportation, 2003).

Aspal emulsi adalah zat cair yang tidak mudah terbakar yang dihasilkan dengan menggabungkan semen aspal dengan air menggunakan zat pengemulsi atau surfaktan, seperti sabun, debu, dan lebih tinggi (Asphalt Institute, 2009). Aspal emulsi memiliki kelebihan dibandingkan aspal panas dan aspal *cutback*, karena aspal tersebut dapat digunakan dengan agregat dingin atau panas dan dengan agregat yang kering atau lembap. Selain itu, aspal yang diemulsi tidak perlu berada pada suhu tinggi untuk aplikasi yang tepat, dan dengan demikian bahaya kebakaran dihilangkan, dan pemasangannya jauh lebih cepat daripada aspal *cutback* (Asphalt Institute, 2009).

2.1.1 Klasifikasi aspal bahan *tack coat*

Menurut Mohammad et al. (2018) emulsi aspal biasanya diklasifikasikan berdasarkan muatan partikelnya dan sifat-sifat pengaturannya. Menurut ASTM D977 dua jenis aspal emulsi yang paling umum digunakan adalah anion dan kation. Keuntungan menggunakan

emulsi ionik daripada emulsi non ionik adalah bahwa emulsi ionik menawarkan ikatan yang cepat dan efektif ketika digunakan dengan agregat yang memiliki muatan berlawanan pada permukaan (National Stone Association, 1991). Emulsi kation lebih disukai untuk digunakan dalam cuaca lembap, karena mereka kurang sensitif terhadap kelembaban dan suhu. Hasil survei di seluruh dunia menunjukkan bahwa emulsi kation adalah bahan *tack coat* yang paling sering digunakan (Chaignon, November 2001). Emulsi anion dan kation selanjutnya dinilai berdasarkan sifat pengaturannya. Jenis dan jumlah zat pengemulsi dalam emulsi mengontrol laju pengaturan. Emulsi yang saat ini tersedia dalam praktik adalah SS, pengaturan menengah (MS), RS, *float* tinggi, polimer termodifikasi, dan lateks yang dimodifikasi (L). Emulsi tingkat anion adalah RS-1, HFMS-2, RS-2, MS-1, HFMS-2, MS-2, MS-2H, SS-1 dan SS-1H; emulsi tingkat kation adalah CRS-1, CRS-2, CMS-2, CMS-2h, CSS-1 dan CSS-1H (5). Emulsi RS umumnya digunakan pada malam hari dan cuaca dingin karena pengaturan waktu yang cepat. Studi telah menunjukkan bahwa nilai SS (SS-1, S-1H, CSS-1, dan CSS-1H) dan nilai RS (RS-1, RS-2, CRS-1, CRS-2, CRS-2P dan CRS-2L) adalah jenis emulsi yang paling umum digunakan sebagai *tack coat* di Amerika Serikat. Semen aspal *paving* panas (AC-20 dan AC-30) dan aspal *cutback* belakang juga kadang-kadang digunakan sebagai bahan *tack coat* di beberapa negara bagian (Mohammad L. N., 1998).

2.1.2 *Tack coat dilution*

Dilution emulsi adalah proses pengenceran menggunakan emulsi yang berfungsi memberikan volume tambahan pada laju residu yang diberikan. Pengenceran diperlukan agar alat distributor dapat berfungsi dengan baik pada laju aplikasi rendah saat berjalan pada kecepatan normal. Emulsi mengalir dengan mudah pada alat distributor dan memungkinkan untuk aplikasi yang lebih seragam pada suhu ruangan (*Asphalt Institute, Manual Series 22*). Keuntungan menggunakan tipe SS dibandingkan tipe RS adalah tipe SS dapat terdilusi. emulsi SS yang encer tidak direkomendasikan untuk digunakan dalam cuaca dingin, karena membutuhkan beberapa jam agar dapat digunakan atau bahkan berhari-hari untuk agar dapat digunakan secara optimal bila dibandingkan dengan emulsi RS. *Overlay* dengan emulsi SS apabila dilalui lalu lintas berat sebelum waktu pengaturannya selesai dapat menyebabkan terjadinya selip berlebihan pada perkerasan.

2.1.3 *Tack coat breaking dan setting time*

Aspal emulsi berwarna coklat, karena mengandung semen aspal, air, dan zat pengemulsi. Ketika aspal yang diemulsi menyatu dan bereaksi dengan permukaan agregat, air terpisah dari emulsi, dan warna emulsi berubah dari coklat menjadi hitam. Penguapan air menyebabkan emulsi aspal rusak atau pecah dan membuat lapisan aspal terus menerus pada permukaan perkerasan (U.S. Army Corps of Engineers, 2000). Secara umum emulsi aspal membutuhkan waktu 1 hingga 2 jam untuk dapat digunakan sepenuhnya. Literatur yang ada tidak memiliki konsensus yang mengatur mengenai berapa lama *setting time tack coat* sebelum lapisan aspal berikutnya ditempatkan. Survei oleh Federasi Emisi Bitumen Internasional menunjukkan bahwa interval waktu yang diperlukan antara aplikasi bahan selongsong dan penempatan lapisan aspal berikutnya biasanya berkisar

antara 20 menit hingga beberapa jam, tergantung pada jenis *tack coat* (Roffe, 2002). Paul et al. (1998) melaporkan bahwa banyak negara DOT menentukan waktu minimum antara aplikasi *tack coat* dan penempatan HMA untuk memberikan periode *curing* yang memadai bagi emulsi untuk pecah dan diatur. Tiga negara DOT menentukan waktu maksimum yang bisa ditempelkan *tack coat* sebelum pemasangan beton aspal. Alaska DOT menetapkan periode pengaturan maksimum 2 jam untuk CSS-1 dan maksimum 72 jam untuk SS-1. Texas DOT menentukan maksimum 45 menit untuk SS-1 dan MS-2. Empat negara mengindikasikan bahwa pengaspalan diperlukan pada hari pengaplikasian *tack coat*. Secara umum diakui bahwa emulsi harus benar-benar ditetapkan sebelum lapisan aspal berikutnya ditempatkan, karena telah diverifikasi dalam studi laboratorium menggunakan kedua spesimen buatan laboratorium dan sampel yang diekstraksi lapangan bahwa ISS yang lebih besar dapat dicapai dengan waktu pengeringan yang lebih lama (Hachiya, 1997). Pengalaman juga menunjukkan bahwa HMA baru dapat ditempatkan di atas *tack coat* yang tidak disetel dan bahkan pada emulsi yang tidak terputus tanpa efek yang merugikan pada kinerja perkerasan (U.S. Army Corps of Engineers, 2000).

2.1.4 Aplikasi *tack coat*

Pengaplikasian *tack coat* yang tepat memiliki peranan penting untuk terciptanya konstruksi perkerasan aspal berkualitas tinggi. Penerapan *tack coat* yang tepat guna menjamin ikatan *interface* yang ideal selama konstruksi *overlay*. Umumnya *tack coat* yang digunakan adalah aspal emulsi berbasis air yang dimodifikasi polimer atau tidak dimodifikasi. (Mohammad L. N., 2002) melaporkan bahwa menerapkan jenis *tack coat* tertentu memberikan kekuatan ikatan *interface* yang lebih baik dibandingkan dengan *interface* tanpa aplikasi *tack coat*. *Tack coat* RS yang tidak retak memberikan kekuatan ikatan tertinggi, sementara CRS-1 menghasilkan kekuatan ikatan terendah. Banyak penelitian menunjukkan bahwa emulsi yang dimodifikasi memiliki potensi untuk meningkatkan ikatan *interface* secara signifikan, diikuti oleh emulsi yang tidak dimodifikasi dan *interface* yang tidak dilapisi (Sangiorgi, 2002).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa peningkatan properti adhesi antar layer tidak signifikan ketika kinerja *interface tacked* dengan berbagai jenis *tack coat* dibandingkan dengan kondisi *interface non tacked* (Buchanan, 2004). Dalam beberapa kasus, ditemukan bahwa *interface non tacked* tampaknya menunjukkan resistensi geser yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan *interface tacked* dengan emulsi yang tidak dimodifikasi (Canestrari, 2005). Penelitian secara eksperimental menunjukkan bahwa emulsi yang dimodifikasi menghasilkan resistensi geser *interface* yang lebih tinggi daripada emulsi *performance grade* (West, 2005), sedangkan penelitian lain menyimpulkan bahwa kedua kondisi *interface* memiliki ikatan *interface* maksimum yang sebanding (Kulkarni, 2005). Pengamatan ini dapat dipengaruhi oleh perbedaan dalam produk aspal, teknik persiapan sampel, dan kinerja mekanik semen aspal residual (Marasteanu, 2006).

Sebuah tinjauan dari studi mengungkapkan terdapat kesulitan dalam menentukan kuantitas dan kualitas penggunaan optimal produk *tack coat* untuk diterapkan pada

interface. Pelapis *tack coat* berlebih dapat melemahkan *interface* dengan memperkenalkan bidang yang tergelincir alih-alih bekerja sebagai agen pengikat dan dengan demikian dapat mempromosikan selip geser karena dapat bertindak sebagai agen pelumas. Situasi tersebut dapat menyebabkan kesulitan pemadatan selama konstruksi karena pergerakan lapisan HMA di bawah beban pemadat yang berat. Penggunaan *tack coat* yang berlebihan dapat berpindah ke dasar lapisan HMA *overlay* dan dengan demikian mempengaruhi sifat campuran selama konstruksi. *Tack coat* yang tidak memadai dapat mengakibatkan tegangan tarik tinggi di bagian bawah *overlay* karena resistansi geser *interface* yang buruk (Asphalt Institute, 2009).

Sejumlah penulis mengkonfirmasi bahwa jumlah optimal *tack coat* tidak hanya tergantung pada sifat-sifat pengikat aspal residual tetapi juga pada karakteristik permukaan perkerasan, sifat campuran, suhu, dan banyak faktor lain yang mempengaruhi (Canestari, 1997). Semua aspek penerapan *tack coat* harus dipertimbangkan dan dikendalikan dengan hati-hati selama konstruksi untuk kinerja perkerasan yang optimal. Pemilihan bahan *tack coat* optimal dan tingkat aplikasi sangat penting untuk pengembangan ikatan *interface* yang tepat. Pemilihan *tack coat* utamanya dilakukan berdasarkan pengalaman dan pertimbangan teknis. Jumlah residu aspal lebih penting dari pada jumlah emulsi aspal yang diencerkan. Jumlah residu aspal harus ditentukan dalam praktik aplikasi *tack coat*. *Asphalt Handbook* menyatakan bahwa *tack coat* harus dipanaskan hingga suhu yang ditentukan sehingga cukup cair untuk aplikasi yang tepat. Lapisan harus secara seragam menutupi seluruh permukaan perkerasan dan disembuhkan dengan mudah sebelum konstruksi berikutnya untuk menghasilkan ikatan *interface* yang memadai (Asphalt Institute, 2009).

2.2 Karakterisasi Kekuatan Ikatan *Interface*

Tiga mode kegagalan dasar (geser, tegangan, dan torsi) dapat terjadi pada *interface* perkerasan di bawah lalu lintas dan pemuatan lingkungan. Beberapa metode, termasuk pengujian laboratorium, pengujian non destruktif, dan analisis teoritis menggunakan data lapangan, dapat digunakan untuk mengevaluasi ikatan *interface* antar lapisan perkerasan. Selain itu, beberapa alat uji terkait kinerja tersedia untuk menilai karakteristik ikatan bahan *tack coat*.

Setiap jenis pengujian laboratorium dimaksudkan untuk mengetahui berbagai jenis kegagalan *interface* yang mungkin terjadi dalam kondisi lapangan aktual. Pengujian uji geser langsung adalah pengujian yang paling banyak digunakan dan paling representatif untuk mengukur ikatan *interface* antara lapisan perkerasan. Dalam beberapa kasus uji tarik langsung juga dilakukan karena di bawah kondisi pelayanan, kegagalan *interface* perkerasan disebabkan oleh tegangan geser dan tegangan normal (Raab, 2004.). Ikatan *interface* antara lapisan perkerasan tergantung pada beberapa parameter yang mempengaruhi. Faktor-faktor berikut harus diperhitungkan selama konstruksi, penempatan *overlay* untuk mencapai kinerja perkerasan jangka panjang yang memuaskan, atau keduanya.

2.3 Kekuatan Geser

Kekuatan geser adalah resistensi suatu perkerasan dalam menahan tegangan geser dari beban kendaraan yang bekerja di atasnya yang dipengaruhi dari kondisi ikatan antar lapis perkerasan. Tegangan geser ini terjadi akibat adanya beban kendaraan yang lewat di atas lapis perkerasan, khususnya pada lokasi di mana kendaraan sering melakukan percepatan dan perlambatan (Mentang, 2014). Pembebanan kendaraan yang melewati suatu perkerasan jalan akan mengakibatkan terjadinya tegangan geser dan momen lentur pada lapis perkerasan tersebut, pembebanan yang melebihi daya dukung perkerasan akan berakibat terhadap 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. Penggunaan *tack coat* pada struktur perkerasan bertujuan agar tidak terjadi slip antar lapisan pada struktur perkerasan, tegangan geser yang timbul harus mampu ditahan oleh ikatan pada *interface* antar lapisan yang diaplikasikan *tack coat*. Pemberian *tack coat* pada bidang kontak antar lapisan (*interface*) dimaksudkan untuk meningkatkan daya lekat (adhesi) dua lapisan agar menjadi satu kesatuan (Sihombing, 2014).

2.4 Karakteristik Permukaan Perkerasan

Ikatan mekanik antara lapisan perkerasan yang berdekatan sangat tergantung pada karakteristik permukaan perkerasan yang ada sebelum konstruksi *overlay*. Sejumlah penelitian yang dilakukan mengkonfirmasi secara eksperimental bahwa permukaan mikro dan makro tekstur lapisan bawah tampaknya memainkan peran penting dalam pengembangan ikatan *interface* yang tepat (Santagata, 1994). Raab et al. (2004) melaporkan bahwa ikatan antara lapisan perkerasan tidak hanya bergantung pada sifat-sifat mekanis pengikat tetapi juga *interlock* agregat pada *interface*. Dalam hal ini, resistansi geser antar lapisan yang lebih rendah dapat dikaitkan dengan kekasaran permukaan yang lebih rendah (Santagata, 1994).

Hasil penelitian menunjukkan dengan yang setara, permukaan yang *milled* memberikan kekuatan ikatan *interface* yang jauh lebih tinggi daripada permukaan yang tidak *milled* karena kekasaran permukaan yang tinggi dari hasil pengujian (Tashman, 2006). Mohammad et al. (2012) menjelaskan bahwa tekstur permukaan berkorelasi baik dengan hasil tes ISS. Permukaan HMA *milled* menghasilkan ikatan *interface* tertinggi, diikuti oleh PCC, HMA yang ada, dan HMA baru. Akhtarhusein et al. (2004) melaporkan bahwa permukaan perkerasan yang serupa (AC-AC) menghasilkan kekuatan ikatan yang lebih tinggi daripada permukaan lainnya (AC-PCC). Menurut *A Basic Manual Asphalt Emulsion* (2009) permukaan perkerasan penerima *tack coat* harus bersih dan bebas dari kontaminasi material lain untuk mendapatkan kinerja pengikatan terbaik. Leng et al. (2008) melaporkan bahwa metode pembersihan permukaan memiliki pengaruh yang signifikan pada pengikatan *interface* antara perkerasan HMA-PCC, dan arah pengerjaan

memiliki efek yang dapat diabaikan pada pengikatan *interface*. McGhee et al. (2009) menunjukkan bahwa kekuatan ikatan *interface* yang buruk dikaitkan dengan permukaan dasar yang tidak sehat atau kotor atau keduanya. Pengaplikasian *tack coat* tanpa membersihkan atau mencuci permukaan yang ada dengan benar, akan menghasilkan ikatan antar lapisan yang tidak ideal.

2.5 Bitumen Stress Analysis In Roads (BISAR)

Setelah munculnya komputer generasi terbaru, beberapa program komputer linier elastis dikembangkan untuk analisis perkerasan. Tujuan utama dari program komputer ini adalah menghilangkan komputasi yang rumit untuk mendapatkan tegangan, regangan, dan perpindahan dari teori *multi-layer* klasik dan mendapatkan solusi mekanis. Program pertama adalah program CHEVRON yang dikembangkan oleh Warren dan Dieckman (Chevron Research Company, 1963). BISAR merupakan perangkat lunak yang dikembangkan oleh peneliti Shell diperkenalkan untuk menghitung reaksi struktur *multi-layer* dengan bahan elastis linier. BISAR juga menggunakan teori Burmister dan menganalisis banyak kasus pemuatan. Program ini memiliki berbagai keuntungan yang menggunakan moduli elastis yang berbeda, poisson ratio, ketebalan lapisan, dan kondisi ikatan *interface* yang ditentukan di setiap lapisan (De Jong, 1973)

BISAR 3.0 mampu menghitung tegangan dan regangan, defleksi dan mampu menangani gaya horizontal dan selip di antara lapisan perkerasan. Ini menawarkan kesempatan untuk menghitung profil tegangan dan regangan yang komprehensif di seluruh struktur untuk berbagai pola pemuatan, termasuk pesawat udara. BISAR 3.0 adalah alat perhitungan yang berharga, yang dapat digunakan untuk menyempurnakan desain SPDM 3.0, untuk melaksanakan desain yang lebih rumit (misalnya untuk lapisan dasar yang dibatasi semen atau desain bandara) dan sebagai program yang berdiri sendiri untuk perhitungan teoritis pada sistem *multilayer* elastis. Memfasilitasi perhitungan terkait SPDM, versi BISAR 3.0 saat ini berisi opsi untuk diakses yang mudah dengan konfigurasi roda ganda standar dan untuk secara otomatis memilih posisi penting dalam struktur lapisan yang sedang dipertimbangkan (International et al., 1998)

Pemodelan struktur perkerasan lentur yang memiliki konfigurasi struktur perkerasan banyak lapis (*Multilayer system*) dan model struktur perkerasan kaku yang memiliki struktur perkerasan satu lapis (*single layer system*), analisa perilaku kedua struktur perkerasan tersebut dapat didekati dengan analisa sistem lapisan elastis (*Elastic layered system*). Teori lapisan elastis telah dipakai sejak tahun 1962 ketika Westergaard menggunakannya untuk memprediksi respon sistem perkerasan terhadap beban roda dari perkerasan kaku. Beberapa asumsi yang dipakai oleh Burmister dan kebanyakan telah terbentuk dalam mengembangkan solusi tertutup adalah sebagai berikut:

- a. Setiap lapisan bertindak sebagai kontinu, isotropik, homogen, medium elastis linear terbatas di tingkat horizontal;
- b. Beban permukaan dapat direpresentasikan oleh tegangan vertikal merata di wilayah yang melingkar;

- c. Kondisi *interface* antara lapisan dapat direpresentasikan sebagai sempurna
- d. Setiap lapisan terus didukung dengan lapisan bawah;
- e. Gaya inersia dapat diabaikan;
- f. Deformasi seluruh sistem adalah kecil;
- g. Suhu efek diabaikan.

BISAR (*Bitumen Stress Analysis in Roads*) merupakan salah satu program yang mengadopsi konsep analisa teori elastik banyak lapis (*Multilayered elastic system*) yang dapat dipakai untuk menghitung tegangan, regangan dan pergeseran dalam sistem berlapis elastis yang mengalami satu atau lebih beban vertikal melingkar seragam pada permukaan sistem perkerasan jalan.

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Persyaratan Campuran Beton Aspal

Lapisan aspal beton (LASTON) atau *Asphaltic Concrete* (AC) banyak digunakan sebagai lapis permukaan jalan untuk mengantisipasi beban lalu lintas yang tinggi. Lapisan aspal beton dibuat untuk mengantisipasi beban lalu lintas yang tinggi. Lapisan aspal beton dibuat dengan bahan tersebut di atas dan diolah dengan cara campuran panas (*hotmix*). (*Asphalt Institute, 1983*) menyatakan bahwa campuran aspal panas tersusun dari kombinasi campuran agregat seragam dan dilapisi dengan aspal keras. Beton beraspal banyak dipergunakan sebagai bahan lapis permukaan untuk jalan yang menerima beban, lalu lintas tinggi, yang tersusun dari agregat dengan gradasi menerus dan bahan pengikat aspal yang diolah atau dicampur secara panas. Berikut ini merupakan persyaratan campuran beton aspal yang perlu dipenuhi untuk merencanakan suatu lapis beton aspal:

3.1.1 Agregat

ASTM D 4791-75 mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa massa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat digunakan sebagai bahan campuran beraspal, membentuk suatu kombinasi ikatan yang seimbang di antara pembentuk campuran beraspal, mortar atau beton. Sifat dan kualitas agregat dapat menentukan kemampuan dalam memikul beban lalu-lintas. Agregat dengan kualitas dan sifat yang baik dibutuhkan untuk lapisan permukaan yang langsung memikul beban lalu lintas dan mendistribusikan ke lapisan di bawahnya. Agregat secara umum dibagi menjadi tiga kategori sebagai berikut:

a. Agregat kasar

Berdasarkan persyaratan agregat menurut Departemen Pekerjaan Umum (2018), fraksi agregat kasar untuk rancangan adalah agregat yang tertahan pada saringan No. 8 (2,36 mm) agregat haruslah bersih, keras, awet dan bebas dari kandungan tanah lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan yang berlaku, serta berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga (2018) mengenai sifat-sifat fisis agregat kasar untuk konstruksi perkerasan jalan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Ketentuan agregat kasar (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018)

Pengujian	Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12 % dan Maks 18 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 2417:2008	Maks. 40 %
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 2439:2011	Min. 95 %
Butir Pecah pada Agregat Kasar	SNI 7619:2012	95/90 (*)
Partikel pipih dan lonjong (**)	ASTM D-4791-10	Maks. 5%
Material lolos saringan No.200	ASTM C117:2012	Maks. 1 %

b. Agregat halus

Berdasarkan persyaratan agregat menurut Departemen Pekerjaan Umum (2018), yaitu batuan yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm) dan tertahan saringan No. 200 (0,075 mm) terdiri atas hasil pemecahan batu/ pasir alam, serta berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga (2018) mengenai sifat-sifat fisis agregat halus untuk konstruksi perkerasan jalan dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Ketentuan agregat halus (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018)

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50 %
Material lolos saringan No. 200	SNI 03-4428-1997	Maks. 8 %
<i>Angularitas</i>	SNI 03-6877-2002	Min. 45 %
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI ASTM C117:2012	Maks 10%

c. Bahan Pengisi (*filler*)

Bahan pengisi merupakan mineral dengan ukuran partikel $< 0,075$ mm (lolos saringan No. 200), yang diperoleh dari hasil sampingan pabrik-pabrik semen dan mesin pemecah batu (*stone crusher*). *Filler* merupakan bahan berbutir halus yang mempunyai fungsi sebagai pengisi antara rongga agregat kasar dalam rangka mengurangi besarnya rongga, meningkatkan kerapatan, dan stabilitas campuran aspal, bisa berupa debu batu kapur (*lime stone dust*), abu batu, abu terbang (*fly ash*), atau bahan lain dan harus dalam keadaan kering dengan kadar air maksimal 1%.

Tabel 3. 3 Ketentuan bahan *filler* (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018)

Jenis Pengujian	Standar	Nilai
Lolos ayakan No. 200, terhadap beratnya	SNI ASTM C136:2012	Min. 75 %

3.1.2 Aspal

Aspal sebagai suatu cairan yang lekat atau berbentuk padat, yang terdiri dari *hydrocarbons* atau turunannya, terlarut dalam *trichloro ethylene* dan bersifat tidak mudah menguap serta lunak secara bertahap jika dipanaskan (Asphalt Institute, 1989). Aspal berwarna hitam atau kecokelatan, memiliki sifat kedap air dan adhesif. Fungsi pengikat aspal sebagai material tahan air bernilai ekonomis, dan sebagai perekat termoplastik, dengan kata lain aspal bertindak sebagai lem yang menyatukan jalan (Anderson et al., 2001). Umumnya pengikat aspal hanyalah residu dari penyulingan minyak bumi, untuk mencapai target yang dibutuhkan untuk keperluan perkerasan, pengikat harus dihasilkan dari campuran minyak mentah yang dipilih dengan hati-hati, dan diproses ke tingkat yang sesuai. Untuk beberapa kondisi tertentu, zat aditif (biasanya polimer) dicampur sehingga bereaksi dengan pengikat dan meningkatkan performanya. Persyaratan aspal PG 76 yang menjadi acuan penelitian ini disajikan pada Tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Ketentuan aspal PG 76 (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018)