

ANALISIS KONDISI *BONDING* ANTAR LAPISAN BERASPAL SECARA TEORITIS DAN PENGUJIAN DI LABORATORIUM

Eri Susanto Hariyadi

Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil
Sekolah Pasca Sarjana
Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10, Bandung 40132
Fax: +62-22-250-2350
erish@prosystech.co.id

Djunaedi Kosasih

Dosen Senior
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10, Bandung 40132
Fax: +62-22-250-2350
kosasih@trans.si.itb.ac.id

Bambang Ismanto Siswosoebrotho

Guru Besar
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10, Bandung 40132
Fax: +62-22-250-2350
bis@trans.si.itb.ac.id

Bambang Sugeng Subagio

Guru Besar
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10, Bandung 40132
Fax: +62-22-250-2350
bsugeng@trans.si.itb.ac.id

Abstract

The condition of bonding between asphalt pavement layer can influence the behaviour of pavement structure in supporting vehicle loading. In strong bonding condition, the adjacent pavement layers will act together to support pavement loading and the other way in weak bonding condition the layers will act independently with the result that stress in every layer of pavement become higher and will decrease pavement life consequently. This study described the investigation of bonding condition using teoretical model and laboratory test. Those are developed using CIRCLY5-SAP2000 Program and Modified Direct Shear Test respectively. The results shown that there is the range of bonding parameter which starting from weak bonding until full bonding using theoretical and laboratory model. Futhermore the analysis shown that ignoring bonding condition between pavement layer will become one of factors which cause early damage in pavement structure.

Keywords : *Bonding, Direct Shear Test, SAP2000, CIRCLY5*

PENDAHULUAN

Daya lekat (*bonding*) yang lemah antar lapis perkerasan beraspal adalah salah satu penyebab berbagai kerusakan perkerasan jalan. Pengelupasan perkerasan jalan yang seringkali terjadi pada titik percepatan lalu lintas, pengereman kendaraan, kendaraan berbelok adalah masalah yang banyak terjadi terkait lemahnya daya lekat (*bonding*) antar lapisan beraspal. Banyak peneliti mempercayai bahwa jenis kerusakan ini terjadi karena tingginya tegangan horizontal dan kurangnya adhesi dan *bonding* pada *interface* antar lapisan beraspal (Hachiya dan Sato, 1998). Daya lekat yang kuat akan menyebabkan setiap lapis perkerasan akan bekerja bersama-sama dalam menerima beban lalu lintas. Sebaliknya adanya daya lekat yang lemah antar lapis perkerasan akan menyebabkan masing-masing lapis perkerasan bekerja sendiri-sendiri akibat tidak adanya geser yang kontinyu pada *interface* (Hakim, 2002).

Penelitian yang ekstensif telah dilakukan di lapangan terhadap kinerja material perkerasan. Sebaliknya sedikit sekali penelitian terhadap besaran daya lekat (*adhesion properties*) antar lapis perkerasan beraspal serta pengaruh daya lekatnya (*bonding*) terhadap umur perkerasan (Kruncheva *et.al.*, 2005). Saat ini, sebagian besar desain perkerasan lentur jalan raya mengasumsikan bahwa daya lekat yang sangat kuat (*full bond*)

terjadi antar lapis perkerasan. Pada kondisi yang sebenarnya, kondisi daya lekat ini tidak diketahui dan berada pada rentang mulai daya lekat yang sangat kuat (*full adhesion*) sampai dengan tidak adanya daya lekat sama sekali (*zero adhesion*), bergantung pada material properties dan kualitas konstruksinya. Guna mendukung pernyataan ini, Brown dan Brunton (1984) menyimpulkan bahwa perlu banyak penelitian untuk masalah *bonding* (*interface bond*) antar lapis perkerasan.

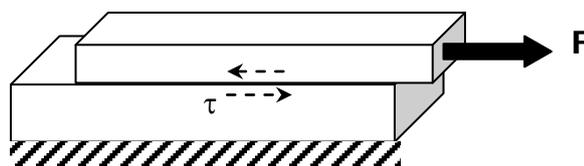
Pada penelitian yang sudah dilakukan saat ini, pada dasarnya besaran dan parameter kondisi *bonding* ini dinyatakan dengan *Bond Stiffness* (Hakim, 2002) dan *Bond Strength* (West et al 2005). Pada penelitian ini, studi teoritis mengenai kondisi *bonding* perkerasan yang menggunakan program analisis struktur yang biasa digunakan, yaitu SAP2000 akan dikembangkan dengan baik. Selain itu, eksperimen di laboratorium dilakukan juga dengan menggunakan alat yang merupakan modifikasi lanjutan dari *Direct Shear Test*.

KONDISI BONDING ANTAR LAPISAN BERASPAL

Model Matematis *Pavement Bonding*

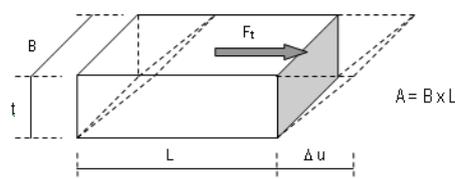
Kondisi daya lekat (*bonding*) antar lapis perkerasan dinyatakan dengan *Bond Strength* dan *Bond Stiffness*. *Bond Strength* dan *Bond Stiffness* adalah dua parameter yang berbeda untuk satu material perkerasan tertentu. Istilah *bond strength* terkait dengan tegangan geser (*shear stress*) maksimum yang dapat dipikul oleh *interface* antar lapis perkerasan beraspal tepat pada saat runtuh (West et al 2005) sedangkan istilah *bond stiffness* terkait dengan nilai rasio tegangan geser dan besar pergerakan gesernya yang terjadi pada *interface* antar lapis perkerasan beraspal. Istilah ini dipakai oleh Hakim (2002) untuk menggambarkan modulus geser reaksi horizontal pada *interface*.

Pengertian *Bond Strength* erat kaitannya dengan konsep *shear stress* yang menunjukkan perilaku kekuatan geser dari suatu bahan. Istilah *Shear Stress* (τ) menunjukkan besarnya respons dari *interlayer* lapis perkerasan akibat gaya horizontal (F) yang diterapkan pada lapisan perkerasan tersebut, seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Kasus *Shear Stress*

Sedangkan yang dimaksud dengan *Bond Strength* (B_s) adalah *shear stress* maksimum yang menyebabkan keruntuhan daya lekat antar lapis perkerasan beraspal. Untuk menurunkan persamaan *Bond Stiffness* tinjau elemen *interface*, seperti terlihat pada Gambar 2, kemudian dapat disusun suatu persamaan *Bond Stiffness* yang diturunkan dari persamaan konstitutif dari Goodman seperti yang dinyatakan pada persamaan sebagai berikut (Hakim, 2002):



Gambar 2 Elemen *Interface*

$$\begin{aligned}\tau &= G \cdot \gamma \\ \tau &= G (\Delta u / t) \\ \tau &= (G / t) \cdot \Delta u ; \text{jika } K_s = (G / t) \\ \tau &= K_s \cdot \Delta u .\end{aligned}$$

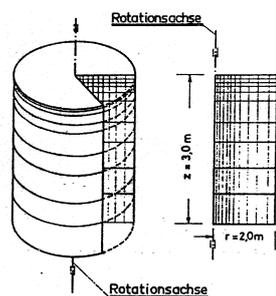
$$K_s = \frac{\tau}{\Delta u} \tag{1}$$

dengan:

K_s adalah *Bond Stiffness* (MN/m³ atau MPa/m)

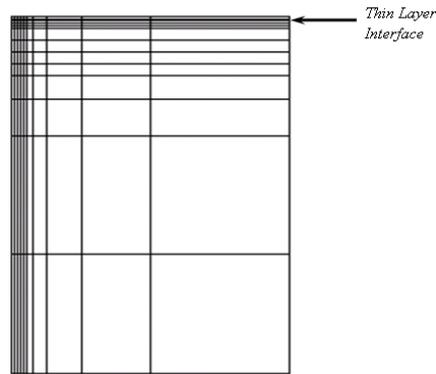
Model Teoritis Struktur Perkerasan dengan Kondisi *Bonding*

Model teoritis suatu struktur perkerasan dengan kondisi *bonding* pada *interface*-nya dikembangkan dengan menggunakan pendekatan elemen hingga. Metode elemen hingga adalah suatu metode analisis struktur dengan menggantikan suatu *continuum* dengan sejumlah elemen-elemen diskrit yang terhingga dan terhubung satu sama lain dengan titik-titik nodal. Oleh karena itu untuk penyelesaian analisis struktur perkerasan perlu dikembangkan model elemennya terlebih dahulu. Wolff (1982) mengusulkan masalah struktur perkerasan tiga dimensi dapat didekati dengan model *axisimetric* dua dimensi dengan mengambil elemen hingga pada ukuran 2 x 3 meter, seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Model *Axisimetric* Struktur Perkerasan (Wolff, 1982)

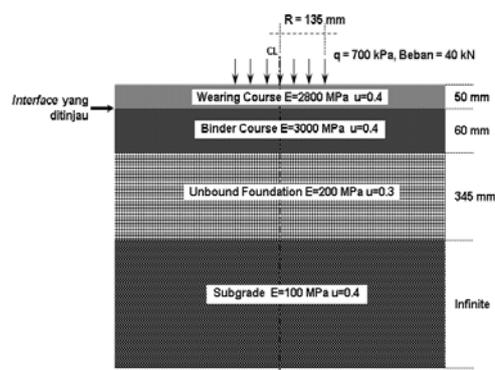
Dalam pemodelan *interface* antar lapis perkerasan, lapisan tipis (*thin layer*) disisipkan pada lokasi *interlayer* yang ditinjau dengan tebal kurang dari 5mm. Melalui serangkaian simulasi didapatkan modulus elastis yang mewakili daya lekat yang sebagian ini adalah kurang dari 100 MPa (Kruncheva et al 2005). Pada studi ini Program SAP2000 digunakan untuk membantu mengembangkan dan menganalisis struktur perkerasan dengan metode elemen hingga. Karena program SAP2000 dibuat untuk analisis struktur secara umum, maka program M-ESH Generation dibuat sebagai *user interface* agar dapat secara mudah mengembangkan dan menganalisis struktur perkerasan lentur (Hariyadi et al 2007). Model struktur perkerasan yang melibatkan kondisi *bonding* hasil Program SAP2000 dan M-ESH Generation dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Model Elemen Hingga Struktur Perkerasan dengan Kondisi *Bonding*

IDENTIFIKASI *BONDING* SECARA TEORITIS

Pada suatu struktur perkerasan yang menerima beban tertentu, suatu kondisi *bonding* yang kuat akan menyebabkan dua lapisan beraspal yang berdekatan saling bekerja sama dalam memikul beban. Sebaliknya, *bonding* yang lemah akan menyebabkan lapisan beraspal bekerja sendiri-sendiri, sehingga tegangan yang dipikul lapisan perkerasan akan menjadi lebih besar. Untuk membuktikan kondisi ini Program CIRCLY5 yang mempunyai fasilitas untuk memodelkan kondisi *bonding* dalam dua kondisi ekstrim, yaitu *fully rough* dan *fully frictionless*, digunakan untuk menganalisis struktur perkerasan pada Gambar 5.

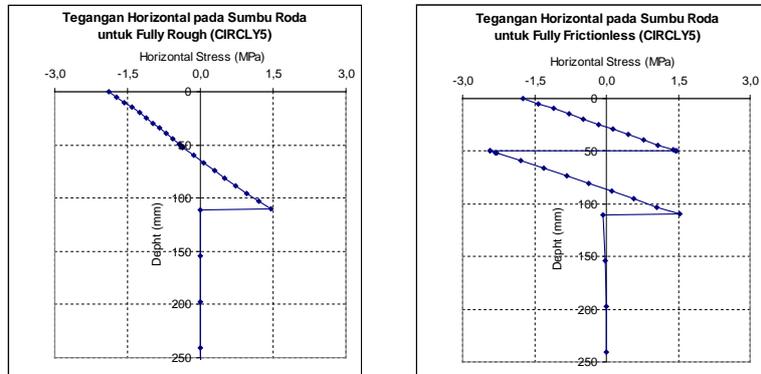


Gambar 5 Struktur Perkerasan Teoritis yang Ditinjau dalam Analisis *Bonding*

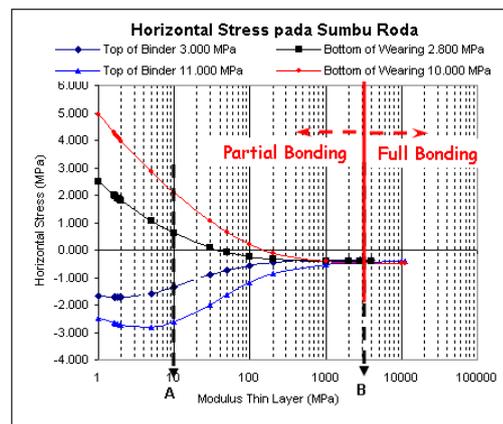
Respons struktur yang dihasilkan untuk nilai tegangan horizontal pada berbagai kedalaman tertentu dapat dilihat pada Gambar 6. Terlihat pada Gambar 6 kanan, untuk perkerasan dengan kondisi *bonding* yang lemah atau kondisi *interface* nya *fully frictionless* terjadi dua macam pola tegangan horizontal tarik dan tekan, karena lapis *wearing coarse* dan *binder coarse* bekerja sendiri-sendiri. Perilaku berbeda terlihat pada Gambar 6 kiri, yaitu perkerasan dengan kondisi *bonding* yang kuat mempunyai satu macam pola tegangan horizontal tarik dan tekan karena dua lapis perkerasan tersebut bekerja bersama-sama.

Untuk mengetahui kondisi *interface* yang mempunyai daya lekat sebagian (*partial bonding*), struktur perkerasan teoritis pada Gambar 5 dianalisis dengan program SAP2000 dan *M-ESH Generation* pada kondisi isotropis, elastis, dan pembebanan statis arah vertikal.

Untuk merepresentasikan kondisi daya lekat antar lapis perkerasan beraspal perlu dilakukan variasi modulus *thin layer* ini dengan tebal lapis yang dipilih adalah sebesar 1 mm. Variasi modulus ini dilakukan secara gradual mulai dari 1 MPa sampai dengan 20.000 MPa.



Gambar 6 Tegangan Horizontal Hasil Program CIRCLY5

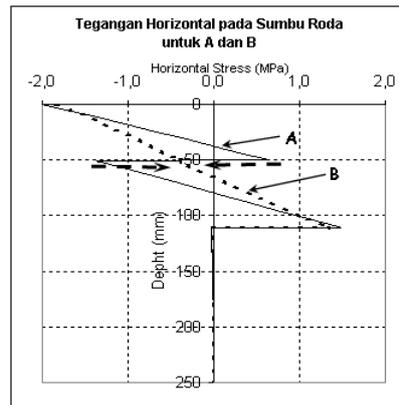


Gambar 7 Tegangan Horizontal pada Berbagai Variasi Modulus *Thin Layer*

Pada Gambar 7 terlihat bahwa tegangan horizontal pada bagian bawah *wearing coarse* berubah secara gradual dari kondisi tarik menjadi tekan dan akhirnya menyatu dengan tegangan horizontal pada bagian atas *binder coarse* pada modulus *thin layer* 1000 MPa. Jika dilakukan investigasi perilaku tegangan horizontal terhadap kedalaman perkerasan pada bagian A dan B terlihat terjadi pergeseran titik tegangan tarik pada pola tegangan horizontal tersebut untuk berubah dari pola tegangan horizontal pada perkerasan *weak bonding* menjadi pola tegangan horizontal pada perkerasan *full bonding*, seperti terlihat pada Gambar 8. Pola tegangan pada Gambar 8 ini mirip dengan Gambar 6 yang merupakan hasil dari program CIRCLY5.

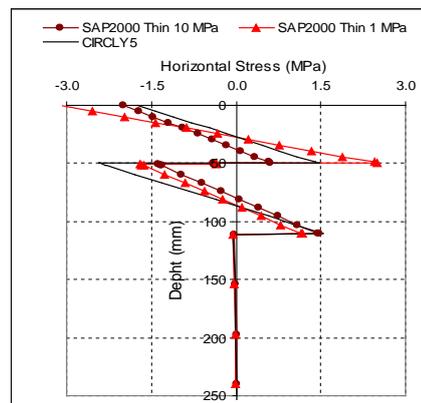
Pergeseran ini menunjukkan terjadinya perubahan derajat daya lekat (*degree of bonding*) dari kondisi *partial bonding* menjadi *full bonding*. Dengan kata lain perubahan modulus *thin layer* dari 1 MPa secara gradual menjadi 11.000 MPa merepresentasikan perubahan kondisi *bonding* antar lapis *wearing course* dan *binder course* perkerasan pada Gambar 4. Pada Gambar 8 ini terlihat bahwa batas antara kondisi *partial bonding* dan *full*

bonding terjadi pada modulus *thin layer* yang sama dengan modulus terkecil dari salah satu lapis perkerasan di antaranya. Untuk kasus pada Gambar 8 batas *partial bonding* dan *full bonding* terjadi pada modulus *thin layer* sebesar 2800 MPa untuk lapis *wearing course* 2800 MPa dan pada modulus *thin layer* 10.000 MPa untuk lapis *wearing course* 10.000 MPa. Walaupun begitu perilaku ‘bekerja bersama-sama’ telah dimulai pada modulus *thin layer* 1000 MPa, seperti terlihat pada Gambar 8 tersebut. Perlu lebih banyak variasi lagi terkait modulus lapis lainnya serta ketebalan masing-masing lapisnya untuk lebih memastikan batas dimulainya perilaku ‘bekerja bersama-sama’ ini.



Gambar 8 Tegangan Horizontal Hasil Program SAP2000

Lebih jauh lagi investigasi dilakukan terhadap modulus *thin layer* yang kurang dari 10 MPa untuk melihat perilakunya sampai tidak adanya daya lekat sama sekali (*no bonding*). Untuk melihat kondisi ini, program CIRCLY5 yang mempunyai fasilitas kondisi *interface fully frictionless (smooth)* dijadikan referensi. Pengamatan dilakukan terhadap tegangan horizontal pada sumbu roda pada beberapa variasi kedalaman. Modulus *thin layer* yang digunakan adalah mulai dari 1 MPa sampai dengan 10 MPa. Hasil analisis program CIRCLY5 dan SAP2000 dapat disajikan pada kurva seperti yang terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Nilai Tegangan Horizontal Hasil Program CIRCLY5 dan SAP2000 pada Modulus *Thin Layer* 1 MPa dan 10 Mpa

Terlihat pada Gambar 9 bahwa tegangan horizontal pada kondisi *fully frictionless* hasil program CIRCLY 5 untuk jenis struktur pada Gambar 5 berada pada modulus *thin layer* antara 1 MPa dan 10 MPa. Hal ini terlihat dari tegangan horizontal di bawah *wearing course* (kedalaman 50 mm) dan di bagian bawah *binder course* (kedalaman 110 mm) hasil program CIRCLY5 akan tercapai didalam rentang nilai modulus *thin layer* tersebut. Namun hal ini masih perlu dilakukan pengamatan untuk respons struktur yang lainnya pada variasi tebal dan modulus lapis perkerasannya untuk memvalidasi batas modulus *thin layer* pada kondisi mulai terjadi *debonding*.

PENGUJIAN KONDISI *BONDING* DI LABORATORIUM

Pengujian Laboratorium untuk mengetahui kondisi *bonding* antar lapis perkerasan beraspal pada penelitian ini menggunakan alat *Direct Shear Test*. Pengujian *Direct Shear* adalah serangkaian pengujian dengan memberikan gaya horizontal kepada sampel dua lapis material beraspal dengan menggunakan alat semacam *Direct Shear* yang biasa digunakan untuk material tanah yang telah dimodifikasi *mold* atau tempat benda uji (kotak geser) dan sistem pembebanannya. Alat uji geser langsung ini dimodifikasi agar dapat menerapkan beban normal pada sample sampai sebesar 600 kg dan kotak geser yang fleksibel dengan ukuran sample serta dapat mengakomodir beban normal tersebut. Alat *Direct Shear* yang digunakan dalam pengujian ini terlihat pada Gambar 10.

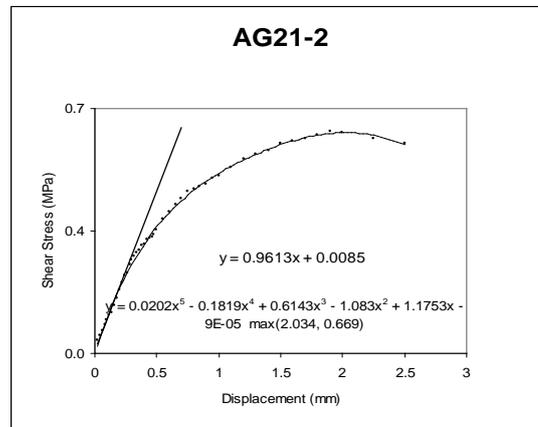


Gambar 10 Alat *Direct Shear Test* yang Dimodifikasi

Pengujian *Direct Shear* dilakukan dengan menggeser secara langsung sample dua lapis *bituminous material*. Prosedur pengujian *Direct Shear* ini mengacu ke ASTM D5607-02. (ASTM International, 2006). Pembacaan dial *proving ring* dilakukan pada interval pergeseran (*flow*) yang sudah ditentukan sebelumnya dan terbaca pada *dial flow*. Pembacaan *dial proving ring* ini sampai pada suatu kondisi pembacaan dial yang tidak naik lagi atau menurun. Kondisi ini adalah kondisi *failure* pada sampel. Dari deretan nilai *shear stress* yang terjadi pada suatu pergeseran tertentu, diplotkan pada sumbu kartesian yang ordinatnya adalah *shear stress* (MPa) dan absisnya adalah *displacement* (mm), sehingga jejaknya terlihat pada Gambar 11.

Dari jejak *shear stress dan displacement* ini kemudian ditentukan persamaan polinomialnya dengan metode regresi linier. Dengan menggunakan persamaan ini, *Bond Stiffness* ditentukan dari bagian linier pada awal kurva dan didapat persamaan regresi yang

berupa persamaan garis lurus. Kemiringan garis lurus ini merupakan nilai *Bond Stiffness*, sedangkan nilai maksimum persamaan polinomial merupakan nilai *Bond Strength* nya.



Gambar 11 Kurva *Shear Stress-Displacement*

Untuk mengetahui rentang *Bond Strength* dan *Bond Stiffness* sebagai parameter kondisi *bonding* yang didapat dari percobaan laboratorium, disiapkan tiga macam variasi sampel yaitu *fabricated* dan *coring* sampel yang mewakili kondisi *partial bonding* masing-masing berjumlah 53 sampel dan 15 sampel serta monolit *coring* sample, yang mewakili kondisi *full bonding* yang berjumlah 2 sampel. Hasil pengujian *Direct Shear* yang berupa nilai *Bond Strength* dan *Bond Stiffness* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Rekapitulasi Nilai *Bond Stiffness* dan *Bond Strength*

	Bond Stiffness (MPa/m)			Bond Strength (MPa)		
	Fresh Pavement (Full Fabricated)	Old Pavement (Coring)	Monolit Pavement (Coring)	Fresh Pavement (Full Fabricated)	Old Pavement (Coring)	Monolit Pavement (Coring)
Rata-rata	522.5	797.9	1132	1	1.37	1.71
Deviasi Standar	114.82	196.34	-	0.26	0.31	-
Batas Atas	637	994	-	1.27	1.69	-
Batas Bawah	407	600	-	0.74	1.06	-
Jumlah Sampel	53	15	2	53	15	2

Dengan mengambil nilai-nilai batas atas dan batas bawah dari masing-masing jenis sampel dan mengambil rata-rata dari batas-batas yang overlap, dapat ditentukan rentang *Bond Stiffness* dan *Bond Strength* yang merupakan parameter *bonding* hasil uji laboratorium, seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Rentang Parameter Kondisi *Bonding* Hasil Uji Labaratorium

No	Bond Stiffness (Ks) (MPa/m)	Bond Strength (Bs) (MPa)	Kondisi <i>Bonding</i>
1	≤ 407	≤ 0.74	<i>Partial Bonding (Weak)</i>
2	$407 < Bs \leq 619$	$0.74 < Bs \leq 1.21$	<i>Partial Bonding (Medium)</i>
3	$619 < Bs \leq 1,063$	$1.21 < Bs \leq 1.7$	<i>Partial Bonding (Strong)</i>
4	$> 1,063$	> 1.7	<i>Full Bonding</i>

PENGARUH KONDISI *BONDING* TERHADAP DESAIN TEBAL PERKERASAN

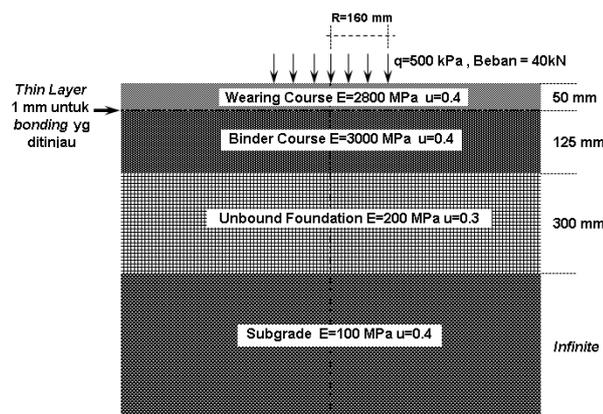
Dalam proses desain tebal perkerasan dengan metode mekanistik, salah satu kriteria yang dipakai dalam desain-nya adalah kriteria *fatigue I*, dengan karakteristik *fatigue* biasanya dinyatakan dengan *fatigue life*. Terdapat suatu hubungan yang umum antara *fatigue life* dengan regangan tarik maksimum yang dinyatakan dengan suatu persamaan:

$$N_f = \left(\frac{6918 \times (0.856 \times V_b + 1.08)}{S_{mix}^{0.36} \times \epsilon_t} \right)^5 \quad (2)$$

dengan:

- N_f = jumlah repetisi beban kriteria *fatigue*
- S_{mix} = stiffness modulus campuran
- V_b = kadar aspal dalam campuran
- ϵ_t = regangan horizontal pada bagian bawah lapisan beraspal

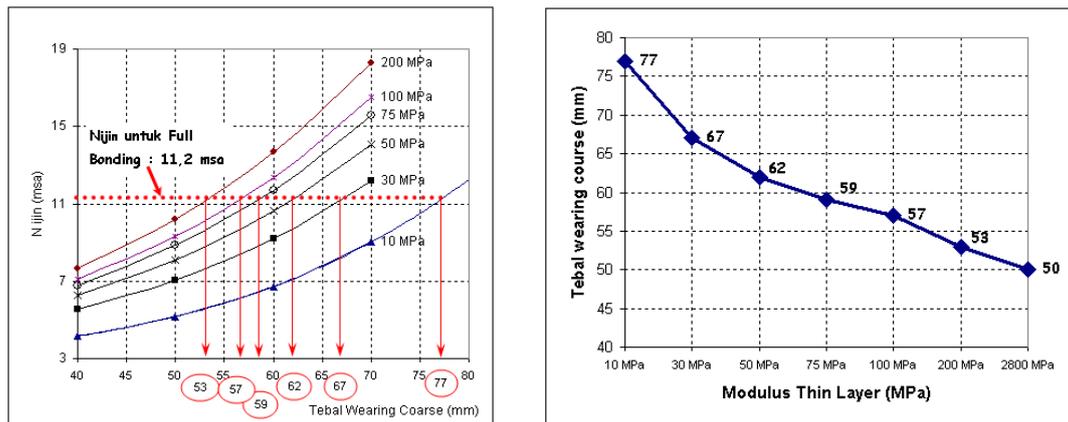
Untuk melihat pengaruh kondisi *bonding* terhadap desain tebal perkerasan, ditinjau struktur perkerasan seperti yang terlihat pada Gambar 12. Untuk mengetahui pengaruh kondisi *bonding* terhadap desain tebal perkerasan, struktur perkerasan pada Gambar 12 pertama-tama dianalisis dengan kondisi daya lekat yang *full bonding* sebagai model referensinya. Dengan program SAP2000 didapat regangan kritis yang terjadi pada bagian bawah lapisan beraspal untuk model referensi ini sebesar 171.12 microstrain. Dengan menggunakan persamaan III.1 didapat nilai N_f sebagai nilai N_{ijin} nya dengan S_{mix} 3000 MPa dan nilai tipikal $V_b=12\%$ (AUSTROADS, 1992), adalah sebesar 11.2 million ESA. Nilai N_{ijin} ini merupakan nilai kapasitas struktur dari struktur perkerasan tersebut apabila diasumsikan kondisi daya lekatnya adalah *full bonding*. Jika daya lekatnya diasumsikan *partial bonding*, dengan kapasitas struktur yang sama dapat dihitung berapa penambahan ketebalan lapis *wearing course*, seperti yang terlihat pada Gambar 13.



Gambar 12 Detail Struktur Perkerasan untuk Perhitungan Tebal Perkerasan

Gambar variasi ketebalan *wearing course* seperti yang disajikan pada Gambar 13 tidak menyimpulkan bahwa untuk pemilihan model perkerasan model *full bonding* adalah

model yang paling tepat dan efisien karena tebal perkerasannya paling kecil. Kesimpulan ini kurang tepat karena kondisi *full bonding* adalah kondisi yang ideal dalam kajian teoritis, sedangkan kenyataan di lapangan adalah kondisi daya lekat antar lapis perkerasan beraspal berada pada kondisi *partial bonding*. Karena itu, jika kondisi *full bonding* yang dipilih yang menghasilkan tebal wearing course 50 mm, maka akan mempunyai kapasitas struktur yang lebih kecil dari 11,2 msa karena pada kenyataannya kondisi *partial bonding* yang terjadi, sehingga kerusakan dini akan terjadi pada struktur perkerasan yang direncanakan tersebut.



Gambar 13 Desain Tebal Perkerasan Terkait Faktor *Bonding*

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Model teoritis struktur perkerasan lentur dengan kondisi *bonding* nya dapat dianalisis dengan pendekatan elemen hingga yang *axisimetric* yang hasilnya mempunyai kemiripan dengan program CIRCLY5.
2. Daya lekat antara lapisan beraspal dapat direpresentasikan melalui lapisan tipis (*thin layer*) setebal 1 mm yang disisipkan diantaranya. *Bonding* yang lemah diwakili dengan modulus lapisan *bonding* yang kecil, dan sebaliknya, *bonding* yang kuat diwakili dengan modulus lapisan *bonding* yang sama dengan salah satu modulus lapisan beraspal.
3. Kondisi *bonding* antar lapis perkerasan beraspal dapat diukur di laboratorium dengan menggunakan *Direct Shear Test* yang hasilnya diparameterkan dengan *Bond Stiffness* dan *Bond Strength*. Dari pengujian laboratorium ini didapat rentang *Bond Stiffness* dan *Bond Strength* yang menunjukkan kondisi *bonding* antar lapis perkerasan beraspal mulai dari weak *bonding* sampai dengan full *bonding*.
4. Hasil analisis terhadap pengaruh kondisi *bonding* terhadap kebutuhan desain tebal struktur perkerasan adalah bahwa makin lemah kondisi *bonding* antar lapisan beraspal maka makin tebal lapisan yang diperlukan.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials. 2006. Standard Test Method for Performing Laboratory Direct Shear Strength Test of Rock Specimens Under Constant Normal Force. *ASTM D5607-02*. Philadelphia, PA..
- Brown, S. F., Brunton, J. M. 1984. *The Influence of Bonding between Bituminous Layers*. Highway Transportation, 31(5), 16-17.
- Hachiya, Y., Sato, K. 1998. *Effect of Tack Coat on Bonding Characteristic at Interface Between Asphalt Concrete Layer*. Proceeding Ninth International Conference on The Structural Design of Asphalt Pavement, ISAP.
- Hakim, B. A. 2002. *The Importance of Good Bond Between Bituminous Layers*. Proceeding of the 9th International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements
- Hariyadi, E. S., Siswosoebrotho, B. I., Subagio, B.S dan Kosasih, D. 2007. *Analisis Struktur Perkerasan Lentur yang Melibatkan faktor Bonding Dengan Menggunakan Software M-ESH Generation*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2007. Universitas Kristen Maranatha. Bandung.
- Kruntcheva, M. R, Collop, A. C and Thom, N. H. 2005. *Effect of Bond Condition on Flexible Pavement Performance*. Journal of Transportation Engineering. 131(11), 880-888, ASCE.
- West, R. C., Zhang, J and Moore, J. 2005. *Evaluation of Bond Strength Between Pavement Layer*. NCAT Report 05-08. Auburn, National Center for Asphalt Technology Auburn University.
- Wolff, F. 1982. *Design of Pavements in Tropical Regions with The Finite Element Method*. Proceeding Fifth International Conference on The Structural Design of Asphalt Pavements, 1, University of Michigan.

