

Rentang Modulus dari *Thin Layer* yang Menunjukkan Kondisi *Bonding* Antar Lapisan Beraspal

Eri Susanto Hariyadi¹⁾

Abstrak

Untuk membantu analisis backcalculation yang melibatkan faktor bonding antar lapis perkerasan beraspal, perlu diketahui kondisi daya lekat (*bonding*) interface yang dimodelkan sebagai lapisan tipis (*thin layer*). Lapisan tipis ini tentunya mempunyai modulus kekakuan (*stiffness modulus*) yang mempunyai rentang tertentu sesuai kondisi daya lekatnya (*bonding*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui rentang modulus tersebut dengan pendekatan analitis yang dibantu dengan program komputer SAP2000. Dengan memasukkan nilai modulus *thin layer* yang bervariasi mulai 1 MPa sampai dengan 10000 MPa, lendutan yang terjadi akibat beban tertentu kemudian dihitung dengan program SAP2000. Dengan program CIRCLY didapat lendutan pada kondisi interface rough dan smooth sebagai referensi dalam menentukan batas-batas kondisi Rough dan Smooth pada lendutan yang dihasilkan SAP2000. Nilai rentang modulus ini adalah lendutan yang dihitung pada batas kondisi daya lekat (*bonding*) yang kuat dengan *thin layer* modulus sebesar 50 MPa dan bonding yang lemah (smooth) dengan *thin layer* modulus sebesar 1.6 MPa

Kata-kata Kunci: Interface, lapisan tipis, SAP2000, CIRCLY 4, Bonding Stiffness.

Abstract

In order to support back calculation analysis which involved bonding factor between bituminous pavement layer, information of bonding condition at the interface is required which can be modeled as a thin layer. This thin layer has a stiffness modulus with a certain range of modulus related to its bonding condition. The objective of this research is to determine the range modulus with analytical approach using SAP2000 software. Involving various thin layer modulus starting from 1 MPa until 10000 MPa yield deflection values due to certain pavement loading using SAP2000. Using CIRCLY Program obtained the deflection in rough and smooth condition as reference to determining rough and smooth condition in deflection calculation using SAP2000. These range of modulus are deflection values which are calculated on rough condition with thin layer modulus 50 MPa and on smooth condition with thin layer modulus 1.6 MPa.

Keywords: Interface, Thin Layer, SAP2000, CIRCLY 4, Bonding Stiffness.

1. Pendahuluan

Perkerasan Lentur Jalan Raya yang sudah mengalami beberapa kali *overlay* akan terdiri dari beberapa lapis material beraspal. Antar lapis material beraspal tersebut biasanya diberikan lapisan *tack coat* sebagai perekat (*bonding*) antar lapisannya. Lapisan *tack coat* adalah pelaburan aspal cair diatas lapis perkerasan lama yang sudah beraspal sebelum dilakukan pelapisan ulang (BOWOPUTRO, 2001). Banyak penelitian yang terkait karakteristik *tack coat* sebagai material perekat (*bonding*) ini. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan *bonding* pada interface lapisan beraspal ini antara lain jenis *tack coat*, periode *curing* nya, serta adanya kotoran yang melekat (Hachiya, et.al, 1997).

Dalam kajian *pavement evaluation*, analisis hasil pengukuran FWD dengan metoda *backcalculation* dapat juga dipengaruhi oleh kondisi daya lekat (*bonding*) antar lapisan beraspal (HAKIM, 2000). Oleh karena itu untuk membantu terhadap analisis *backcalculation* yang melibatkan faktor bonding antar lapis perkerasan beraspal, perlu diketahui kondisi daya lekat (*bonding*) interface ini yang dimodelkan sebagai lapisan tipis sekali (*very thin layer*). Lapisan tipis ini tentunya mempunyai modulus kekakuan (*stiffness modulus*) yang mempunyai rentang tertentu sesuai kondisi daya lekatnya (*bonding*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui rentang modulus tersebut dengan pendekatan analitis yang dibantu dengan program komputer SAP2000.

1. Program Studi Teknik Sipil - ITB

Catatan : Usulan makalah dikirimkan pada 7 September 2006 dan dinilai oleh peer reviewer pada tanggal 11 September 2006 - 5 Oktober 2006. Revisi penulisan dilakukan antara tanggal 8 Oktober 2006 hingga 7 Nopember 2006.

2. Pemodelan Bonding Layer

Diasumsikan *interface* antar lapis perkerasan adalah sebagai sebuah material tipis dengan *shear modulus* G dan tebal t , *shear stress* (τ) pada *interface* akibat gaya geser (F_t) akan menyebabkan perpindahan horizontal (Δu) pada dua sisi *interface*, lihat **Gambar 1**.

Dari **Gambar 1** dapat didefinisikan beberapa besaran berikut :

$$\text{Shear Stress: } \tau = F_t/A \quad (1)$$

$$\text{Shear Strain: } g = \Delta u/t \quad (2)$$

$$\text{Shear Modulus: } G = \tau/g \quad (3)$$

Dari persamaan 1,2 dan 3 dapat diturunkan model matematis *Bonding Stiffness*, yaitu:

$$\tau = G \cdot g$$

$$\Leftrightarrow \tau = G (\Delta u/t)$$

$$\Leftrightarrow \tau = (G/t) \cdot \Delta u$$

$$\Leftrightarrow \tau = K_s \cdot \Delta u, \quad (4)$$

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

$$\text{Jadi } K_s = G/t$$

$$\text{Jika tebal interface } t = 1 \text{ mm, dan } G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

$$\text{maka : } K_s = 500 \times \frac{E}{1+\nu} \quad (5)$$

dimana :

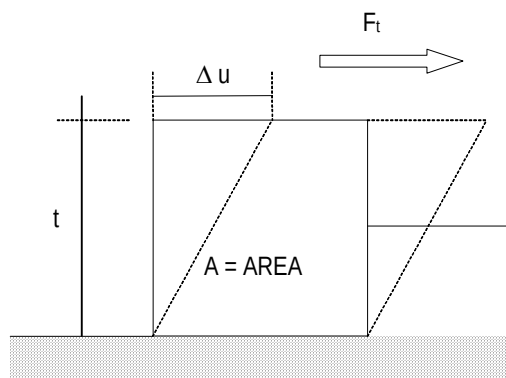
K_s = *Bond Stiffness* (MPa/m)

E = Layer Modulus dari *interface* (MPa)

ν = *Poisson Ratio*

3. Program Sap2000

Program komputer SAP (*Structure Analysis Program*) dikembangkan oleh Profesor Edward L. Wilson di Universitas California Berkeley selama 25 tahun, yang merupakan solusi berbasis komputer terhadap metoda analisis struktur dengan menggunakan elemen hingga (*finite element*).



Gambar 1. Prilaku geser pada suatu elemen

SAP2000 merupakan keluaran terakhir dan paling mutakhir dari seri program komputer SAP. SAP2000 merupakan versi pertama yang terintegrasi dengan Microsoft Windows. Fasilitas yang paling membedakan dengan versi sebelumnya adalah terdapatnya fasilitas *Graphical User Interfaces* (GUI) sehingga program dapat lebih produktif dan mudah digunakan. GUI merupakan *interface* yang handal untuk membuat dan memodifikasi suatu model, menganalisis, mendesain dan menampilkan struktur yang dibuat.

Elemen-elemen yang digunakan di dalam SAP2000 terdapat enam macam elemen, yaitu elemen rangka (FRAME), elemen cangkang (SHELL), elemen benda pejal dua dimensi (PLANE), elemen benda pejal tiga dimensi aksisimetris (ASOLID), elemen benda pejal tiga dimensi (SOLID) dan elemen non linear (NLLINK).

Di dalam program SAP2000, elemen yang dapat merepresentasikan struktur perkerasan adalah elemen ASOLID. Banyak problem praktis tentang analisis tegangan menggunakan bentuk aksisimetris, seperti cerobong, piringan dan juga dapat dikembangkan ke bentuk perkerasan. Pada struktur perkerasan baik bentuk perkerasan maupun beban yang bekerja, dimodelkan dalam bentuk aksisimetris. Secara fisik, problem ini adalah masalah tiga dimensi, tetapi secara matematis dapat disederhanakan sebagai problem dua dimensi.

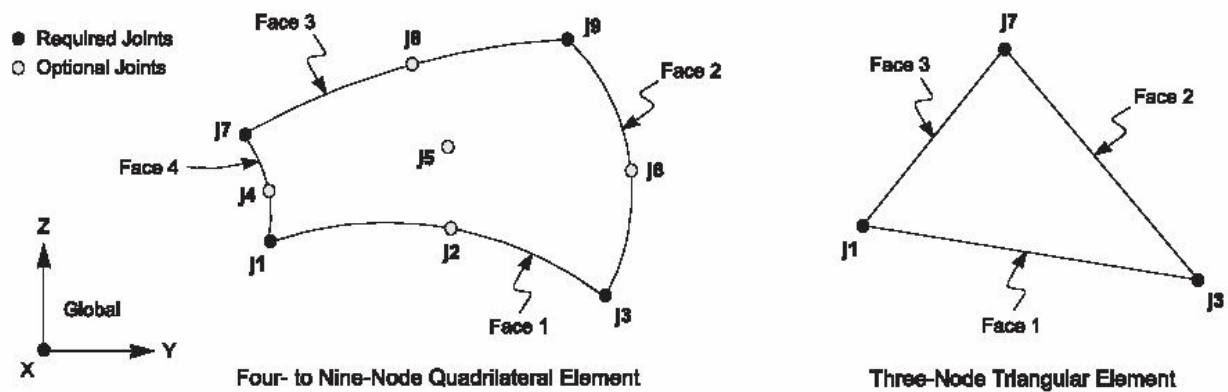
Elemen Asolid adalah elemen tiga sampai dengan sembilan titik nodal untuk memodelkan struktur aksisimetris yang didasarkan atas persamaan isoparametrik. (Habibullah, et.al, 1986).

Elemen Asolid berupa potongan melintang dua dimensi yang menyatakan benda pejal (solid) tiga dimensi yang berbentuk aksisimetrik. Di dalam elemen Asolid, kondisi material yang ortotropik dan temperature-dependent dapat diperhitungkan.

Elemen Asolid dapat mempunyai dua macam bentuk, yaitu bentuk quadrilateral dan bentuk triangular, seperti pada **Gambar 2**.

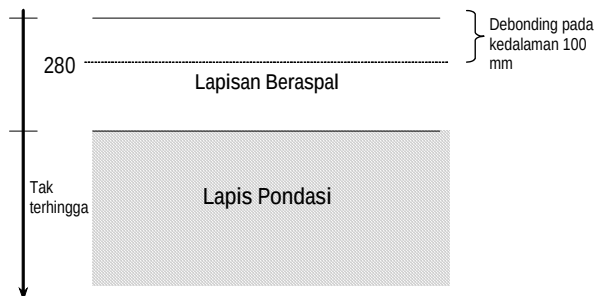
4. Pemodelan Struktur Perkerasan Lentur

Dalam aspek konfigurasi struktur, parameter yang harus ditentukan adalah geometri perkerasan serta jenis material setiap lapis perkerasannya. Pada model struktur perkerasan dasar ini konfigurasi strukturnya terlihat pada **Gambar 2** berikut, yang berupa sistem struktur perkerasan tiga lapis (*three layer*).



Sumber : CSI
Inc, 1996

Gambar 2. Elemen ASOLID



Gambar 3. Konfigurasi struktur perkerasan

Selanjutnya adalah menentukan parameter elastis yang akan diwakili oleh nilai Modulus Elastik dan nilai *Poisson Ratio*. Penentuan nilai-nilai Modulus Elastik dan *Poisson Ratio* mengacu kepada metoda Austroads seperti terlihat pada Tabel 1 berikut. (Austroads, 1992)

Tabel 1. Nilai karakteristik bahan isotropik

	E (MPa)	n
Lapisan Beraspal	3000	0.40
Lapis Pondasi (<i>Unbound Granular</i>)	500	0.35

Kondisi pembebanan mengambil kasus *Single Wheel* (roda tunggal), dengan pembebanan *Falling Weight Deflectometer*, yaitu sebesar 50 kN dengan radius plat pembebanan sebesar 150 mm (Larsen, et.al. 1982), sehingga menghasilkan tekanan pada permukaan perkerasan sebesar :

$$P = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi \times r^2} = \frac{50 \text{ kN}}{\pi \times 150 \text{ mm}^2} = 0.707 \text{ N/mm}^2$$

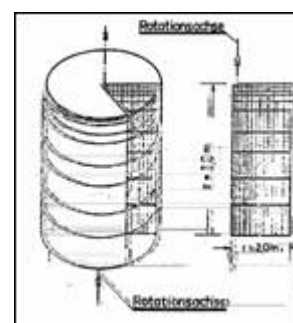
Metoda Elemen Hingga adalah suatu metoda analisis struktur dengan menggantikan suatu *continuum* dengan sejumlah elemen-elemen diskrit yang terhubung satu sama lain dengan titik-titik nodal (Kumar, 1986). Oleh karena itu untuk penyelesaian analisis struktur perkerasan perlu dikembangkan model elemennya terlebih dahulu. Diusulkan

untuk 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 4 (Wolff, 1982).

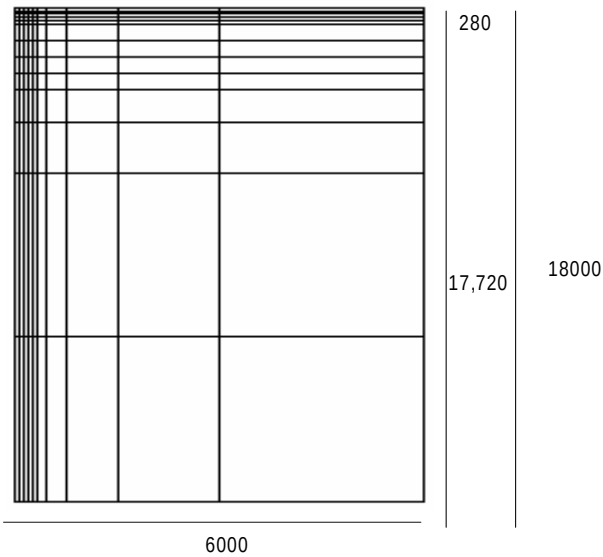
Langkah selanjutnya adalah memilih bentuk elemen yang sesuai dengan model *axisimetric* di atas, di sini akan diambil elemen *quadrilateral* dengan sembilan titik nodal, sehingga *meshing* elemen-elemennya dapat dilihat pada Gambar 5. Khusus untuk *debonding*, dimodelkan sebagai lapisan tipis tebal 1 mm dan elemen *quadrilateral* dengan empat titik nodal.

5. Rentang Modulus dari *Thin Layer*

Model struktur perkerasan lentur di atas kemudian dianalisis dengan menggunakan program SAP2000. Program SAP2000 menghitung lendutan dengan mengambil nilai modulus *thin layer* ($t=1$ mm) pada rentang antara 1 MPa sampai dengan 10000 MPa. Titik-titik lendutan yang dianalisis adalah lendutan permukaan (*surface deflection*) pada jarak dari pusat beban $d=0, 300, 600, 750, 900, 1200, 1500$ mm, sesuai dengan titik-titik *transducer* pada alat FWD. Titik titik lendutan yang didapat dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 4. Model *axisimetric* struktur perkerasan



Gambar 5. Meshing elemen hingga

Lendutan permukaan pada baris nomor 2 dan nomor 10 yang sudah diberi tanda pada Tabel 2, adalah lendutan pada batas kondisi daya lekat (*bonding*) yang kuat dengan *thin layer* modulus sebesar 50 MPa dan *bonding* yang lemah (*smooth*) dengan *thin layer* modulus sebesar 1.6 MPa.

Nilai-nilai batas ini dibandingkan dengan hasil program CIRCLY yang memang sudah tersedia fasilitas untuk analisis struktur perkerasan lentur pada kondisi *interface* sangat kasar (*rough*) dan *interface* sangat licin (*smooth*). Nilai-nilai lendutan yang terkait dua kondisi batas tersebut hasil program CIRCLY dapat dilihat pada Tabel 3.

Dari uraian Tabel 3 di bawah dapat disimpulkan rentang modulus elastisitas (E) dari lapisan *interface* terlihat pada Tabel 4.

6. Kesimpulan

- Lapisan bonding antar bituminuous layer dapat dimodelkan secara matematis berupa elemen geser dengan ketebalan sangat tipis. Dari model ini dapat diturunkan persamaan matematis dari bonding *stiffness* yang menghubungkan parameter modulus geser, modulus kekakuan dan *bonding stiffness*.
- Program SAP2000 dapat digunakan untuk menganalisis model perkerasan lentur *multilayer* dengan memakai elemen Asolid. Untuk lapisan bonding dimodelkan dengan *thin layer* dengan ketebalan 1 mm.
- Nilai modulus dari *thin layer* sebagai *interface* antar lapis perkerasan beraspal yang menunjukkan kondisi *bonding* dari *interface* tersebut yaitu sebesar 1.6 MPa untuk kondisi *bonding* yang lemah (*smooth*) dan 50 MPa untuk kondisi daya lekat (*bonding*) yang kuat (*rough*). Nilai modulus *thin layer* antara 1.6 MPa dan 50 MPa merupakan kondisi *intermediate* yang menunjukkan kondisi *partial bonding* dari *interface* antar lapis perkerasan beraspal tersebut.

Tabel 2. Lendutan permukaan pada jarak sesuai *transducer FWD*

HO	Thin Layer Modulus E (MPa)	0	300	600	750	900	1200	1500
1	1	-5.27422	-3.88035	-2.86451	-2.60162	-2.37795	-1.97776	-1.6459
2	1.6	-4.89908	-3.68745	-2.8158	-2.57104	-2.35207	-1.95888	-1.63894
3	1.7	-4.8566	-3.66606	-2.80999	-2.56697	-2.34862	-1.95674	-1.63834
4	1.8	-4.81767	-3.64652	-2.8046	-2.56312	-2.34538	-1.9548	-1.63784
5	1.9	-4.78182	-3.62858	-2.79958	-2.55948	-2.34234	-1.95303	-1.63742
6	2	-4.74866	-3.61204	-2.79488	-2.55603	-2.33947	-1.95142	-1.63707
7	5	-4.27788	-3.38216	-2.72319	-2.50085	-2.29649	-1.933	-1.63644
8	10	-4.04417	-3.27353	-2.6872	-2.47346	-2.27791	-1.92881	-1.63931
9	30	-3.82457	-3.18132	-2.65867	-2.45315	-2.26574	-1.92814	-1.64305
10	50	-3.76676	-3.16038	-2.65274	-2.44917	-2.26354	-1.92832	-1.64401
11	100	-3.71714	-3.14431	-2.64829	-2.44627	-2.26195	-1.92852	-1.64478
12	200	-3.68908	-3.13623	-2.64604	-2.44482	-2.26116	-1.92862	-1.64515
13	1000	-3.6636	-3.12949	-2.64392	-2.44337	-2.26024	-1.92843	-1.6452
14	10000	-3.6521	-3.12409	-2.63944	-2.43914	-2.25627	-1.92499	-1.64217

Tabel 3. Nilai-nilai lendutan untuk kondisi *interface Rough* dan *Smooth* hasil Program CIRCLY

	0	300	600	750	900	1200	1500
Smooth	-4.888	-4.097	-3.379	-3.073	-2.796	-2.324	-1.944
Rough	-3.768	-3.275	-2.858	-2.665	-2.483	-2.152	-1.865

Tabel 4. Rentang modulus dari *thin layer*

NO	Kondisi Bonding	Modulus Thin Layer, E (MPa)
1	Smooth	$E < 1.6$
2	Intermediate	$1.6 \leq E < 50$
3	Rough	$E \geq 50$

Jika $\nu = 0.4$ dan tebal interface $t = 1$ mm, maka dengan persamaan (5) dapat dituliskan rentang *Bonding Stiffness* (K_s) terlihat pada **Tabel 5** berikut :

Tabel 5. Rentang *bonding stiffness*

NO	Kondisi Bonding	Bonding Stiffness, K_s (MPa/m)
1	Smooth	$K_s < 571$
2	Intermediate	$571 \leq K_s < 17,857$
3	Rough	$K_s \geq 17,857$

Daftar Pustaka

- Austrorads, 1992, "Pavement Design, A Guide to the Structural Design of Road Pavements", Austrorads, Sydney.
- Bowoputro, H., 2001, "Dampak Runtuhan Ban Terhadap Kuat Geser Lapisan Tack Coat pada Konstruksi Pelapisan Ulang Perkerasan Landasan Pacu", Thesis Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, ITB, Bandung.
- Habibullah, A., Wilson, E.L., 2000, "SAP 2000 Users Manual", Computers And Structures Inc., California.
- Hachiya, Y. Sato, K., 1997, "Effect of Tack Coat on Bonding Characteristics at Interface Between Asphalt Concrete Layers", Proceeding of Eight International Conference on Asphalt Pavement Volume I, University of Washington. Seattle.
- Kumar, P., 1986, "Analysis of Flexible Pavement Using Finite and Infinite Elements", Australian Road Research Journal 16 (1) March 1986, Australian Road Research Board, pp. 18-24.
- Larsen, H.J.E., Stubstad, R.N., 1982, "The Use of Non Destructive Testing In Flexible Pavement Rehabilitation Design", Proceeding of International Symposium on Bearing Capacity of Roads and Airfields, Trondheim, Norway.

Rockey, K.C., Evens, H.R., Griffiths, D.W., 1975, "The Finite Element Method A Basic Introduction", Granada, London.

Ullidtz, P., Peattie, K.R., 1982, "Programmable Calculators in the Assessment of Overlays and Maintenance Strategies", Proceeding Fifth International Conference on The Structural Design of Asphalt Pavements, Volume 1, University of Michigan.

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, Volume 1, University of Michigan

