

ANALISIS KONDISI *INTERFACE* ANTARA *WEARING COURSE* DAN *BINDER COURSE* DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM *CIRCLY 5.0*

Muhammad Hari Shofia¹, Eri Susanto Haryadi², Syaiful²

¹Alumni Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor

²Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor

ABSTRAK

Sistem perkerasan lentur adalah konstruksi plat elastis yang berlapis-lapis dengan urutan lapisan tanah dasar (*Subgrade*), lapisan agregat (*unbound granular*), *Asphalt Concrete Binder Course* (AC-BC) sebagai lapisan pengikat dan *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) sebagai lapis penutup. Material *tack coat* digunakan diantara (AC-WC) dan (AC-BC) agar tercapainya daya lekat maksimum pada *interface* kedua lapisan. Asumsi yang selama ini dipakai pada *interface* (AC-WC) dan (AC-BC) adalah kasar sempurna. Akan tetapi dalam pelaksanaannya kondisi kasar sempurna tidak dapat tercapai karena pengaruh dari suhu dan kondisi lapangan seperti debu, pasir dan genangan air. Asumsi *interface* kasar sempurna tidak dapat dipertahankan sehingga diperlukan penelitian tentang kondisi *interface* kasar parsial sesuai dengan kenyataan. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan aspal tipis pada perkerasan jalan sehingga dapat memodelkan kondisi *interface* kasar sebagian dengan menggunakan program komputer *CIRCLY 5.0*. Evaluasi *interface* kasar sebagian dilakukan dengan memodelkan nilai modulus elastisitas pada aspal tipis struktur perkerasan lentur dengan menginput data masukan berupa *traffic data*, *layered system*, *calculation detail* dan *running program*. Digunakan variasi kondisi *smooth* dan *rough* dengan modulus elastisitas 2000 MPa, dilanjutkan dengan memodelkan lapis aspal tipis dengan Modulus Elastisitas 2 MPa, 5 MPa, 100 MPa, dan 1600 MPa. Hasil analisa respon penurunan dan regangan menggunakan program *CIRCLY* didapat bahwa nilai modulus elastisitas lapisan aspal tipis sebesar 5 MPa dapat menunjukkan kondisi *interface* menjadi kasar sebagian.

Kata kata kunci: *Interface*, *Modulus elastisitas*, *Program CIRCLY*

ABSTRACT

Flexible pavement construction system is an elastic plate with a sequence of layered subgrade layer (subgrade), a layer of aggregate (unbound granular), Binder Course Asphalt Concrete (AC-BC) as coating binders and Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) as cover layer. Materials used tack coat between (AC-WC) and (AC-BC) in order to achieve maximum adhesion on the second interface layer. The assumptions that have been used on the interface (AC-WC) and (AC-BC) is the perfect rough. However, in practice the perfect rough conditions can not be achieved because of the influence of temperature and field conditions like dust, sand and water. Assumption of perfectly rough interface can not be maintained so that the necessary research about the conditions of partial rough interface in accordance with reality. Dimaksudkan study was to determine the effect of the use of a thin asphalt pavement so as to model the interface rough conditions in part by using a computer program CIRCLY 5.0. Evaluation rough interface partially done by modeling the value of modulus of elasticity in thin asphalt flexible pavement structure with enter the data input of the data traffic, layered system, calculation details and running programs. Used variations of smooth and rough conditions with a modulus of elasticity of 2000 MPa, followed by modeling the thin asphalt layer modulus of elasticity of 2 MPa, 5 MPa, 100 MPa, and 1600 MPa. The results of the analysis using the strain response of the decline and that the value of the program CIRCLY obtained elastic modulus of thin asphalt layer 5 MPa can indicate the condition of the interface becomes rough part.

Keywords: *Interface*, *Modulus of elasticity*, *CIRCLY Program*

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sistem perkerasan lentur adalah konstruksi plat yang berlapis-lapis dengan urutan lapisan tanah dasar (*Subgrade*), lapisan agregat (*unbound granular*), *Asphalt Concrete Binder Course* (AC-BC) sebagai lapisan pengikat dan *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) sebagai lapis penutup. Material *tack coat* digunakan diantara (AC-WC) dan (AC-BC) agar tercapainya daya lekat maksimum pada *interface* kedua lapisan. (Sudarsono, 1993).

Asumsi yang selama ini dipakai pada *interface* (AC-WC) dan (AC-BC) adalah kasar sempurna. Akan tetapi dalam pelaksanaannya

kondisi kasar sempurna tidak dapat tercapai karena pengaruh dari suhu dan kondisi lapangan seperti debu, pasir dan genangan air. Dengan demikian asumsi *interface* kasar sempurna tidak dapat dipertahankan sehingga diperlukan penelitian tentang kondisi *interface* kasar parsial sesuai dengan kenyataan. Pada saat ini untuk menganalisa *interface* telah dikembangkan sebuah program komputer yang dapat memodelkan kondisi *interface* kedalam dua jenis yaitu kasar (*rough*) dan halus (*smooth*).

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

- 1) Mengevaluasi program CIRCLY sehingga dapat menjabarkan bagaimana tata cara pengoperasian program CIRCLY.
- 2) Mengevaluasi respon lendutan dan regangan antara kondisi kasar (*rough*) dan halus (*smooth*).
- 3) Mengevaluasi respon lendutan dan regangan untuk kasar sebagian jika dimodelkan dengan lapisan aspal tipis.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Perkembangan Perencanaan Perkerasan Lentur

Awal perkembangan perencanaan tebal lapis perkerasan adalah menggunakan *California Bearing Ratio* (CBR) untuk menentukan tebal masing-masing lapisan. Metode ini dikembangkan oleh O.J. Porter dari Departemen Jalan Raya pada tahun 1930-an dan kemudian dipakai oleh Kesatuan Teknik Tentara Amerika Serikat untuk perencanaan perkerasan landas pacu pesawat. Kurva hubungan total ketebalan perkerasan jalan terhadap tanah dasar CBR untuk beban lalu lintas yang berbeda telah dikembangkan oleh banyak negara, sebagai contoh kerajaan Inggris dan Australia, pada masa perang Dunia II. Metodenya menentukan total ketebalan dan tidak membiarkan pengurangan ketebalan akibat beda karakteristik distribusi beban dari bermacam-macam bahan atau material yang digunakan pada konstruksi perkerasan.

Percobaan dengan pengamatan *full-scale* pada pengujian jalan di Amerika Serikat (WASHO dan AASHO *Road Test*) dan setelah itu hampir bersamaan beberapa pengujian perkerasan dilakukan di Inggris yang digunakan

$$a = \sqrt{\frac{P}{\rho * \pi}} \quad (1)$$

Dimana :
a = radius kontak ban
P = Total beban
 ρ = tekanan ban

Material Perkerasan Lentur

Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)

Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) merupakan lapisan penutup pada perkerasan jalan. Lapisan ini memiliki nilai gradasi yang lebih halus dengan kadar aspal lebih tinggi dari lapisan lainnya. Pada penelitian ini digunakan nilai modulus elastisitas pada lapisan aspal *wearing course* sebesar 4000 Mpa.

Asphalt Concrete Binder Coarse (AC-BC)

Asphalt Concrete Binder Coarse (AC-BC) merupakan lapis aspal yang memiliki nilai gradasi lebih besar sehingga memiliki permukaan yang lebih kasar dari lapisan atas. Pada penelitian ini digunakan nilai modulus

sebagai dasar bagi pengembangan perencanaan sementara. Metode ini memperkenalkan konsep baru pada perencanaan tebal perkerasan lentur dimana pada waktu yang sama penelitian dilanjutkan pada tahap pengembangan proses analitis seperti sistem dua lapis dan sistem tiga lapis. Perkembangan program komputer untuk menghitung tegangan, regangan dan defleksi pada sistem lapis banyak baru dimulai pada tahun 1970'an. Beberapa metode perhitungan dihasilkan seperti BISAR dari *Shell Oil Company* dan CIRCLY. Program ini mencari tegangan, regangan dan defleksi untuk ditentukan di setiap titik pada sistem lapis banyak. Teori untuk membuat perhitungan ini telah ada sebelum perkembangan yang cepat pada teknologi komputer yang terjadi pada tahun 1970-an tetapi prosesnya sangat memerlukan tenaga dan waktu yang banyak (Manto Guitom, Tiopan Hendry, 2002).

Metode Perencanaan Analitis

Hal utama dari metode perencanaan perkerasan lentur struktural analitis mengasumsikan bahwa sebuah sistem perkerasan dan pondasinya mungkin di representasikan dengan sistem lapisan elastis yang disangga oleh masa elastis *semi-infinte* dan bahwa tegangan, regangan yang terjadi pada sistem yang diakibatkan oleh lalu lintas ditentukan dengan menyelesaikan persamaan elastiknya dan dibuat berdasarkan sifat-sifat elastik sistem lapisan. Berikut ini rumus untuk menentukan radius kontak ban. (Manto Guitom, Tiopan Hendry, 2002).

elastisitas pada lapisan aspal *binder course* sebesar 2000 Mpa.

Unbound granular

Unbound granular merupakan struktur lapisan pondasi pada perkerasan jalan. Pada penelitian ini digunakan nilai modulus elastisitas pada lapisan *unbound granular* sebesar 500 Mpa.

Pembebanan

Pada dasarnya gaya-gaya yang bekerja pada permukaan perkerasan dapat dibedakan menjadi 2 tipe utama. Tipe pertama adalah gaya-gaya vertikal yang disebabkan oleh beban roda dan tipe kedua adalah gaya-

gaya horizontal yang disebabkan oleh gaya rem. (Mincad System Pty, Ltd, 2004).

Tegangan kontak antar ban dengan perkerasan adalah sama dengan kontak ban, untuk ban dengan tekanan rendah, tekanan kontak di tepi lebih besar dari pada di tengah bidang kontak. Untuk beban dengan tekanan yang tinggi, hal yang berlawanan terjadi. Pada semua pemodelan diasumsikan bahwa tekanan kontak yang terjadi adalah seragam pada

bidang kontak. Bidang kontak juga diasumsikan berupa lingkaran. Jari-jari kontak tersebut ditentukan seperti pada persamaan 1.

Beban-beban pada konfigurasi sumbu tunggal dengan roda tunggal dan sumbu tunggal dengan roda ganda yang mengakibatkan jumlah kerusakan yang sama seperti sumbu standar dapat dilihat pada tabel1. (Mincad System Pty, Ltd, 2004).

Tabel 1 Beban sumbu yang menyebabkan kerusakan sama

Konfigurasi sumbu	Tunggal Tunggal	Tunggal Ganda	Ganda Ganda	Tiga Ganda
Load (kN)	53	80	135	181

Sumber. AUSTRROAD 1992

Untuk kelompok sumbu beban yang berbeda dari tabel 1 kerusakan yang terjadi dinyatakan sebagai nilai ekivalensi sumbu standar yang menghasilkan kerusakan sama.

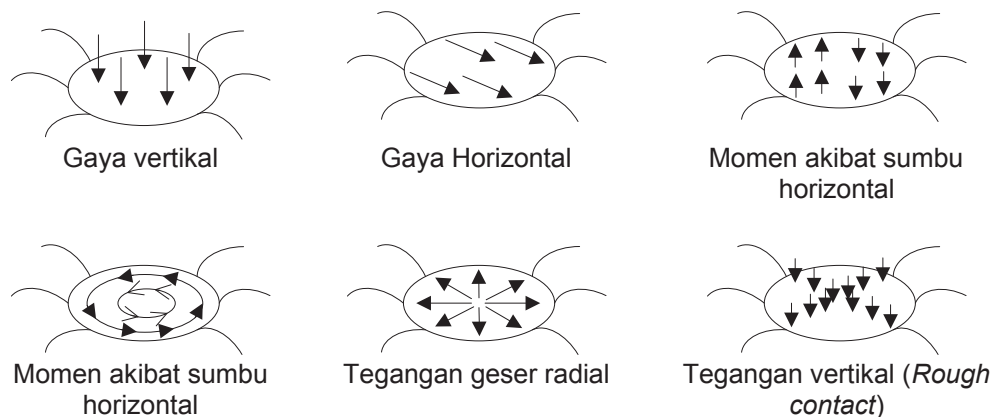
Perencanaan jalan dengan menggunakan cara AUSTRROADS dapat dibagi kedalam 3 kelompok dasar, yaitu:

1) Perencanaan lalu lintas untuk perkerasan lentur terdiri atas satu atau lebih lapis ikat.

2) Perencanaan lalu lintas untuk perkerasan lentur yang terdiri dari lapisan *unbound granular* dan *overlays* untuk perkerasan lentur.

3) Perencanaan lalu lintas untuk perkerasan kaku (*rigid*).

Secara umum tipe pembebanan yang diterapkan pada area lingkaran diperlihatkan pada gambar 1 di bawah ini. (Austroads, 1992).



Gambar 1 Tipe pembebanan Sumber Austroad 1992

Karakteristik Bahan

Hingga saat ini banyak pengujian yang telah digunakan untuk mengukur karakteristik bahan perkerasan. Kebanyakan prosedur pengujian material telah distandarisasikan dan prosedurnya harus diikuti kapan saja.

Isotropik dan Anisotropik

Pada dasarnya kondisi bahan digolongkan menjadi dua golongan yaitu isotropik dan anisotropik. Yang dimaksud dengan bahan isotropik adalah apabila memiliki sifat elastik yang sama di kedua arah yaitu arah vertikal dan arah horizontal seperti bahan aspal dan semen. Sedangkan bahan anisotropik memiliki sifat atau propertis yang berbeda dalam arah sejajar dengan sumbu simetris

tetapi sifat elastiknya sama pada arah tegak lurus sumbu simetrisnya, seperti bahan tanah dasar dan agregat berbutir. Bahan anisotropik sumbu elastik simetri diasumsikan vertikal. Bahan isotropik terdapat pembatasan sebagai berikut:

$$E > 0 ; \frac{1}{2} > \nu > -1$$

Sedangkan untuk kondisi anisotropik pembatasannya adalah:

$$E_h = 0.5 E_v \quad (2)$$

$$\nu_{vh} = \nu_{hv} = \nu \quad (3)$$

$$f = E_v / (1 + \nu) \quad (4)$$

Dimana: E_h = modulus arah horizontal
 E_v = modulus arah vertikal
 ν = *Poisson's ratio*
 f = Modulus geser bahan

Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah rasio dari tegangan normal tarik atau tekan terhadap regangan yang timbul akibat tegangan tersebut. Secara umum persamaan untuk menentukan modulus elastisitas adalah sebagai berikut (DEP. PULP-UGM, 1972).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (5)$$

dimana: E = Modulus Elastisitas
 σ = Tegangan
 ε = Regangan

Poisson's Ratio

Poisson's ratio adalah nilai perbandingan antara regangan tegak lurus arah gaya dan regangan searah gaya pada material (McElvaney, James, 1988). Untuk mengetahui analisis struktur dari perkerasan dalam hal ini kekakuannya, nilai *poisson's ratio* harus diketahui untuk nilai tersebut. Untuk material aspal, *poisso's ratio* tidak tergantung pada besarnya beban tetapi terpengaruh oleh suhu. Umumnya memiliki nilai yang bervariasi antara 0.35 sampai dengan 0.50, nilai tertinggi diakibatkan oleh suhu yang tinggi [6].

Program CIRCLY

Program CIRCLY dibuat pada sekitar tahun 1990-an dan dikembangkan oleh *Melbourne Company Mincad System Pty.Ltd.*. Menurut manual CIRCLY, yang disusun oleh pembuat program komputer, program ini memiliki keunggulan yang lebih daripada program terdahulu yang pernah ada. Beberapa

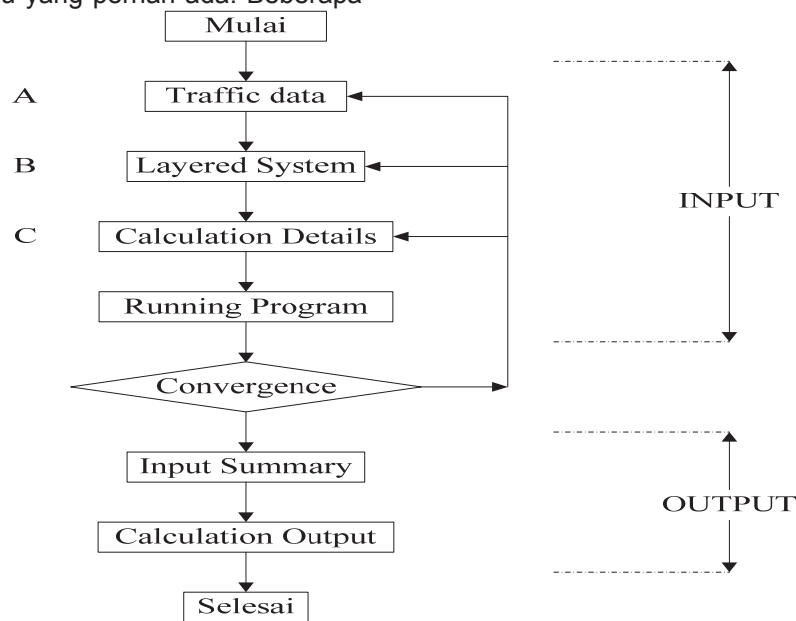
kelebihan yang dimiliki program CIRCLY 5 adalah sebagai berikut:

- 1) Mampu untuk menganalisa sistem perkerasan yang sifat bahannya *isotropic* dan *cross-anisotropic*.
- 2) Mampu menghitung tegangan, regangan dan lendutan pada struktur perkerasan yang diakibatkan pembebanan kendaraan baik pada arah vertikal maupun horizontal.
- 3) Mampu menganalisa sistem perkerasan yang dibebani beban tidak terdistribusi secara merata pada bidang permukaan perkerasan.
- 4) Mampu menganalisa sistem perkerasan yang lebih dari tiga lapisan.
- 5) Mampu memodelkan kondisi *interface* kedalam dua jenis yaitu kasar (*rough*) dan halus (*smooth*)

Program komputer CIRCLY dikembangkan oleh *Melbourne Company Mincad System Pty.Ltd.* Software ini dibuat dengan mengacu pada peraturan perencanaan perkerasan Australia (*AUSTROADS, 1992*). Secara umum program ini pada dasarnya terbagi atas dua kelompok menu utama yaitu pertama *creating, editing* dan *input data* kedua *running analysis* dan *plotting result*. (Mincad System Pty, Ltd, 2004).

Bagian Alir Program CIRCLY

Program CIRCLY dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir dan dijelaskan pada gambar diagram alir yang terdapat pada Gambar 2.



Gambar 2 Bagan Alir Program CIRCLY

Proses *Creating* dan *Editing Data*

Menu ini merupakan proses pemasukan data dan pengeditan data. Ada tiga data penting yang bisa kita masukan pada tahap ini yaitu:

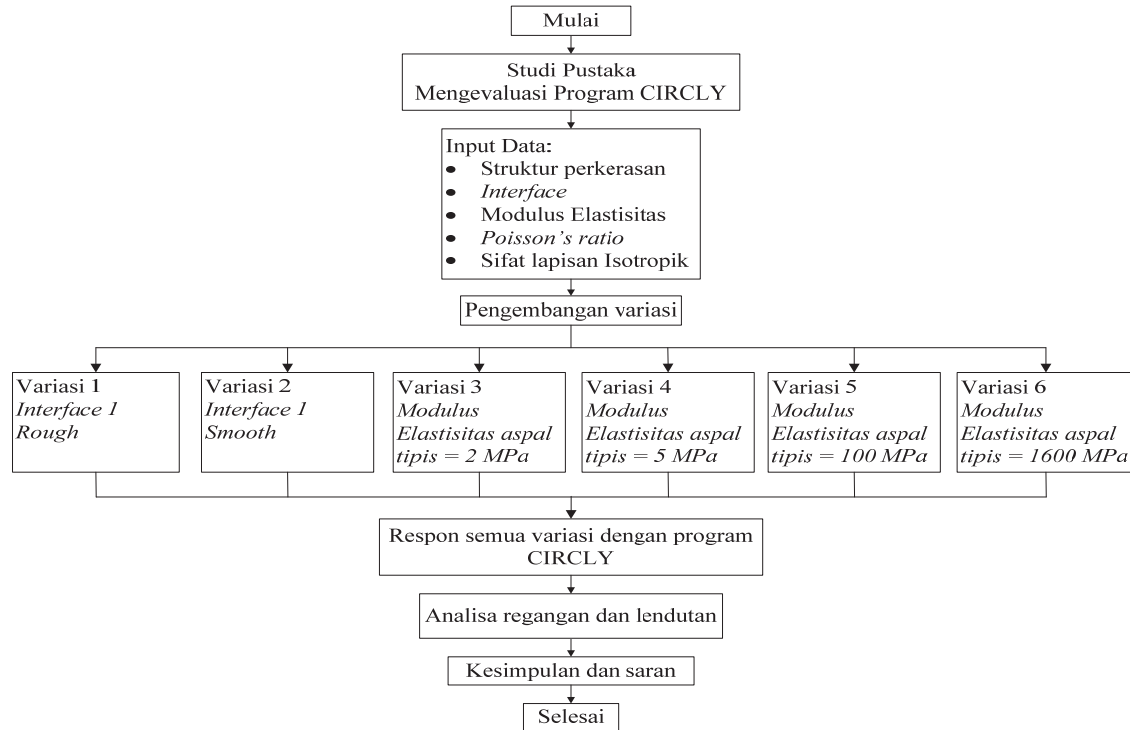
- 1) *Traffic data*
- 2) *Layered system*

3) *Calculation details.* (Mincad System Pty, Ltd, 2004).

3. TATA KERJA

Tata Kerja dan Diagram Alir Penelitian

Tata kerja dan diagram alir dapat dilihat pada Gambar 3.

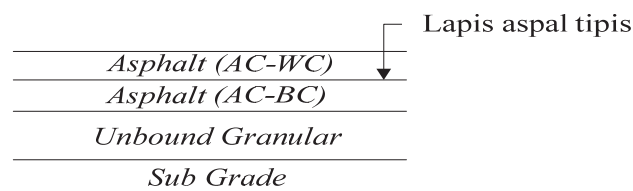


Gambar 3 Diagram Alir Metodologi Penelitian

4. HASIL DAN BAHASAN

Struktur Lapisan Perkerasan Yang Akan Diteliti

Secara umum struktur perkerasan yang akan diteliti adalah struktur perkerasan lentur yang terdiri dari beberapa lapis perkerasan sebagai berikut:

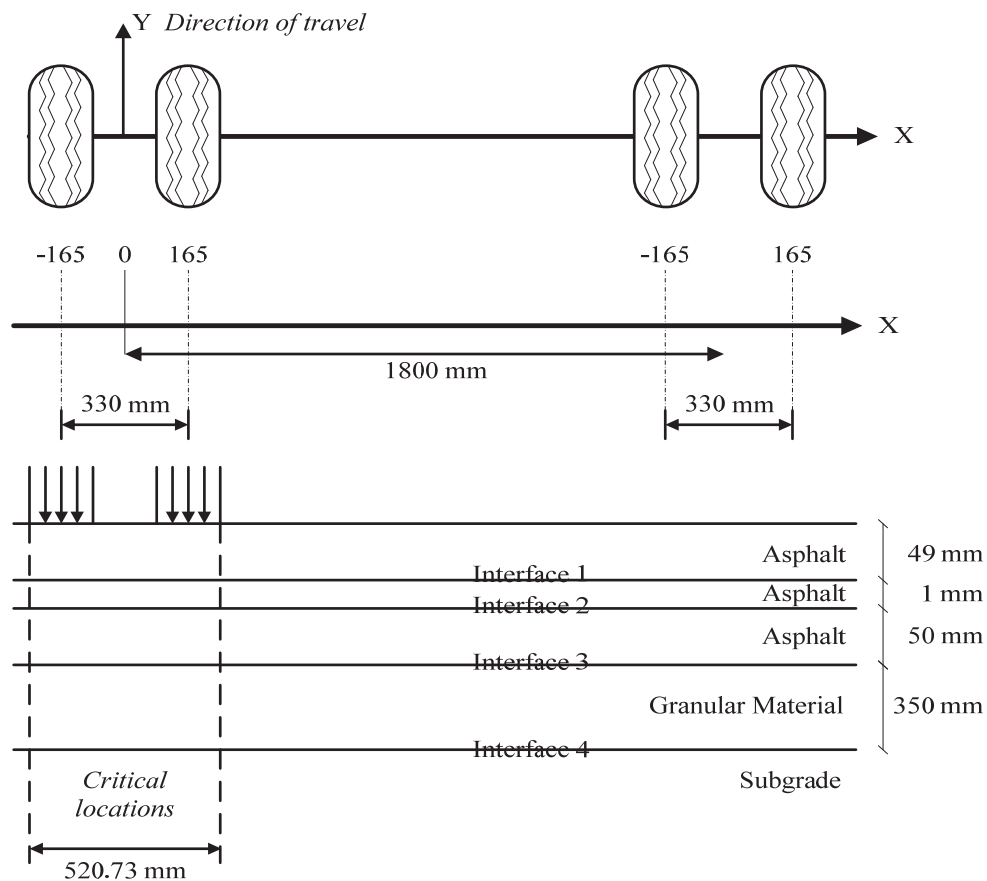


Gambar 4 Lapisan struktur perkerasan lentur

Menentukan Daerah Analisis Perkerasan Lentur

Dalam penelitian ini titik analisis ditentukan pada jarak antara -260,37 sampai

dengan 260.37 dimana koordinat X = 0 berada diantara ban kendaraan. Untuk lebih jelasnya dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 5 Titik analisis penelitian pada program CIRCLY

Menentukan Radius Kontak Ban

Radius kontak ban ditentukan dengan menggunakan persamaan (1) sesuai dengan

$$a = \sqrt{\frac{P}{P x \pi}}$$

$$a = \sqrt{\frac{20}{700 x \pi}} \times 1000$$

$$a = 95,37 \text{ mm}$$

Pada perhitungan ini didapat nilai radius 95,37 mm, nilai ini yang akan dipergunakan sebagai input data untuk radius kontak ban yang diasumsikan lingkaran pada program CIRCLY.

Analisis Kondisi *Interface Rough* dan *Smooth* Antara *Wearing Course* dan *Binder Course*

Setelah daerah analisis dan radius kontak ban ditentukan selanjutnya diasumsikan

cara yang digunakan oleh AUSTRROAD. Persamaan tersebut adalah sebagai berikut:

interface diantara *wearing course* dan *binder course* dengan nilai modulus elastisitas pada aspal tipis sebesar 2000 Mpa kedalam dua kondisi yaitu kasar (*rough*) dan halus (*smooth*) sesuai dengan fasilitas yang ada di program CIRCLY 5.0. Kondisi *interface* ini diasumsikan sebagai parameter kondisi *interface* sebagian. Berikut ini tabel struktur perkerasan lentur dengan mengkondisikan *interface* dan nilai modulus elastis pada lapisan aspal tipis sebagai berikut:

Tabel 1 Struktur perkerasan lentur dengan kondisi *interface rough* dan *smooth*

No	Jenis lapisan	Modulus Elastisitas	Poisson's Ratio	Interface
1	Asphalt	4000	0.4	Rough dan Smooth
2	Asphalt	2000	0.4	Rough
3	Asphalt	2000	0.4	Rough
4	Granular	500	0.35	Rough
5	Subgrade	50	0.4	Rough

Pada dasarnya program CIRCLY 5.0 Mampu menganalisis *displacement*, *strain* dan *stress* yang diakibatkan pembebanan kendaraan baik pada arah vertikal maupun horizontal. Dengan melihat fasilitas yang dimiliki program CIRCLY 5.0 analisa yang dilakukan terbatas pada analisis respon *displacement* arah vertikal pada $Z = 0$ mm (muka aspal *wearing course*), *normal strain* arah horizontal pada $Z = 100$ mm (*interface* antara *binder*

course dan *unbound granular*) dan *normal strain* arah vertikal pada $Z = 450$ mm (*interface* antara *unbound granular* dan *sub grade*).

Respon *Displacement* Arah Vertikal $Z = 0$ mm (Muka *Wearing Course*)

Hasil analisis yang dikeluarkan oleh program CIRCLY 5.0 untuk respon *displacement* arah vertikal $Z = 0$ mm dapat dilihat pada tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 2 *Displacement* arah vertikal $Z = 0$ mm dengan kondisi *interface rough* dan *smooth*

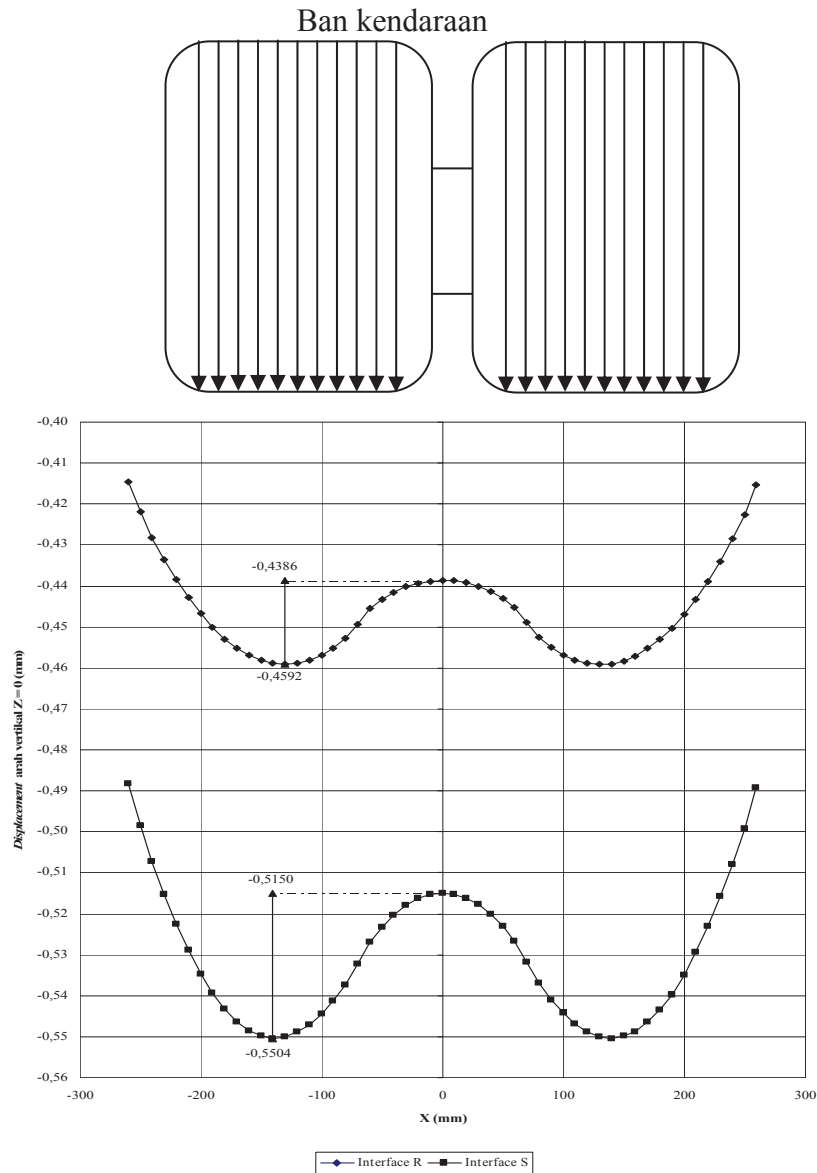
No	Coordinate X	<i>Displacement</i> arah vertikal $Z = 0$ mm	
		<i>Interface Rough</i>	<i>Interface Smooth</i>
1	-260.40	-0.4145	-0.4883
2	-250.40	-0.4220	-0.4985
3	-240.40	-0.4281	-0.5073
4	-230.40	-0.4336	-0.5153
5	-220.40	-0.4385	-0.5225
6	-210.40	-0.4429	-0.5289
7	-200.40	-0.4467	-0.5346
8	-190.40	-0.4501	-0.5393
9	-180.40	-0.4529	-0.5433
10	-170.40	-0.4552	-0.5463
11	-160.40	-0.4570	-0.5485
12	-150.40	-0.4582	-0.5499
13	-140.40	-0.4589	-0.5504
14	-130.40	-0.4592	-0.5500
15	-120.40	-0.4589	-0.5489
16	-110.40	-0.4582	-0.5470
17	-100.40	-0.4569	-0.5445
18	-90.36	-0.4552	-0.5413
19	-80.36	-0.4528	-0.5374
20	-70.36	-0.4494	-0.5323
21	-60.36	-0.4455	-0.5269
22	-50.36	-0.4432	-0.5232
23	-40.36	-0.4415	-0.5203
24	-30.36	-0.4402	-0.5180
25	-20.36	-0.4393	-0.5163
26	-10.36	-0.4388	-0.5153
27	-0.37	-0.4386	-0.5150
28	9.64	-0.4387	-0.5153
29	19.64	-0.4392	-0.5162
30	29.64	-0.4401	-0.5178
31	39.64	-0.4414	-0.5201
32	49.64	-0.4431	-0.5230
33	59.64	-0.4453	-0.5266

34	69.64	-0.4489	-0.5318
35	79.64	-0.4526	-0.5370
36	89.64	-0.4550	-0.5410
37	99.64	-0.4568	-0.5443
38	109.60	-0.4581	-0.5469
39	119.60	-0.4589	-0.5488
40	129.60	-0.4592	-0.5500
41	139.60	-0.4590	-0.5504
42	149.60	-0.4583	-0.5499
43	159.60	-0.4571	-0.5487
44	169.60	-0.4553	-0.5465
45	179.60	-0.4531	-0.5435
46	189.60	-0.4503	-0.5397
47	199.60	-0.4470	-0.5349
48	209.60	-0.4432	-0.5294
49	219.60	-0.4388	-0.5230
50	229.60	-0.4340	-0.5158
51	239.60	-0.4285	-0.5079
52	249.60	-0.4225	-0.4992
53	259.60	-0.4152	-0.4892

Dari tabel 2 dapat dilihat nilai *displacement* arah vertikal maksimum pada kondisi *interface rough* yaitu sebesar $Y = -0.4592$ mm yang berada pada koordinat $X = -130,40$ mm dan nilai minimum yaitu sebesar $Y = -0,4386$ mm yang berada di poros antara ban kendaraan sehingga dapat diketahui rentang *displacement* pada kondisi *interface rough* adalah $0,0206$ mm, akan tetapi untuk kondisi *interface smooth* memiliki nilai maksimum

sebesar $Y = -0,5504$ mm yang berada pada koordinat $X = 140,40$ mm dan nilai minimum sebesar $Y = -0,5150$ mm yang berada di poros antara ban kendaraan sehingga dapat diketahui rentang *displacement* pada kondisi *interface smooth* adalah sebesar $0,0354$ mm.

Untuk lebih jelasnya perbedaan *displacement* arah vertikal $Z = 0$ mm pada kondisi *interface rough* dan *smooth* dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini:



Gambar 3 Respon *displacement* arah vertikal Z = 0 mm (muka *wearing course*)

Respon Regangan Normal Arah Horizontal Z = 100 mm (Interface Antara Binder Course dan Unbound Granular)

Hasil analisis yang dikeluarkan oleh program CIRCLY 5.0 untuk respon regangan normal arah horizontal Z = 100 mm dapat dilihat pada tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 3 Regangan normal arah horizontal Z = 100 mm dengan kondisi *interface rough* dan *smooth*

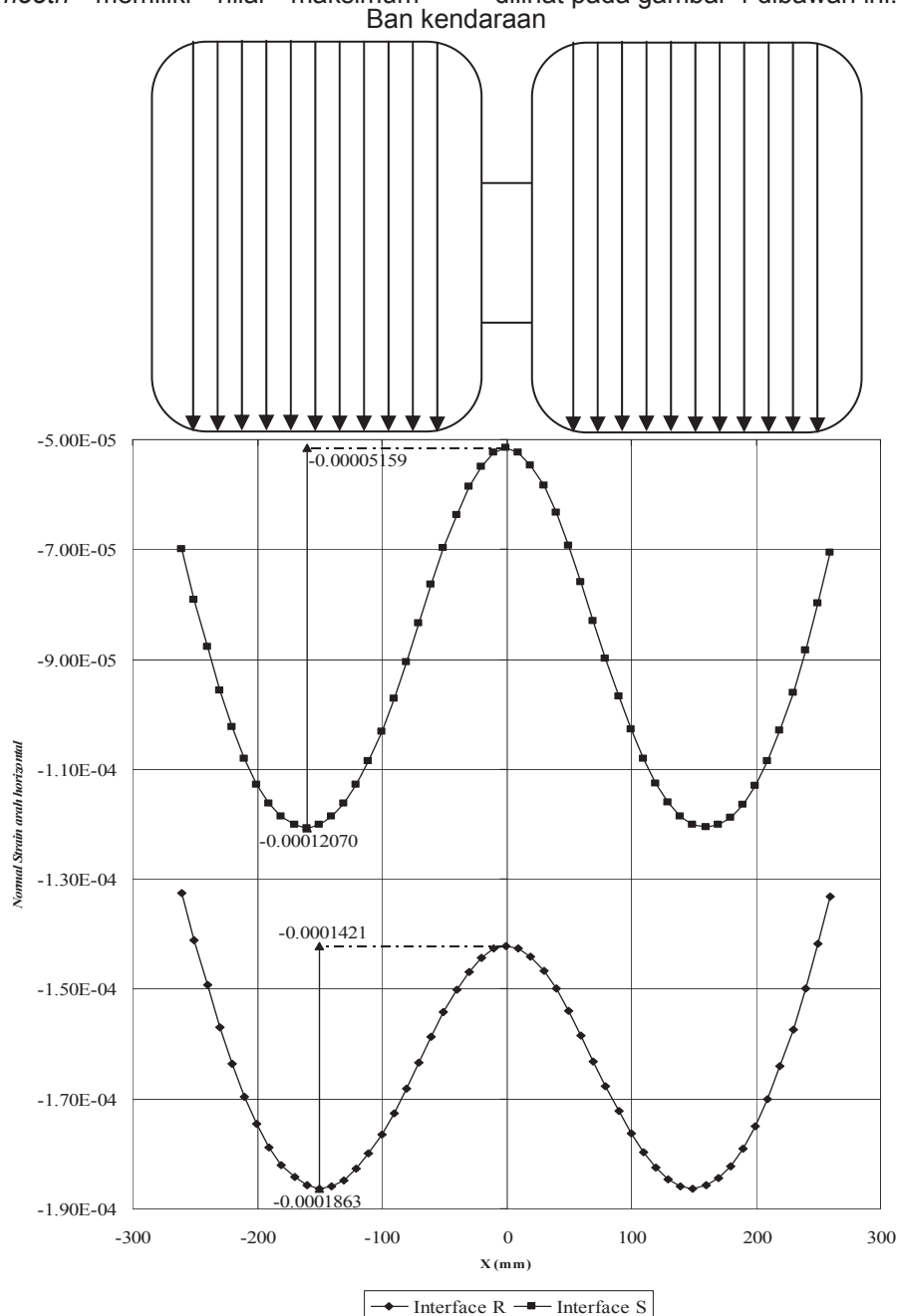
No	Coordinate X	Regangan normal arah horizontal Z = 100 mm	
		Interface Rough	Interface Smooth
1	-260,40	-0,0001325	-0,00006988
2	-250,40	-0,0001411	-0,00007915
3	-240,40	-0,0001493	-0,00008780
4	-230,40	-0,0001569	-0,00009562
5	-220,40	-0,0001636	-0,00010240
6	-210,40	-0,0001696	-0,00010820
7	-200,40	-0,0001746	-0,00011280
8	-190,40	-0,0001788	-0,00011630
9	-180,40	-0,0001820	-0,00011870
10	-170,40	-0,0001843	-0,00012020

11	-160,40	-0,0001857	-0,00012070
12	-150,40	-0,0001863	-0,00012020
13	-140,40	-0,0001860	-0,00011870
14	-130,40	-0,0001848	-0,00011630
15	-120,40	-0,0001828	-0,00011290
16	-110,40	-0,0001800	-0,00010850
17	-100,40	-0,0001766	-0,00010320
18	-90,36	-0,0001726	-0,00009711
19	-80,36	-0,0001681	-0,00009043
20	-70,36	-0,0001634	-0,00008344
21	-60,36	-0,0001587	-0,00007643
22	-50,36	-0,0001543	-0,00006975
23	-40,36	-0,0001502	-0,00006373
24	-30,36	-0,0001469	-0,00005868
25	-20,36	-0,0001443	-0,00005485
26	-10,36	-0,0001427	-0,00005245
27	-0,37	-0,0001421	-0,00005159
28	9,64	-0,0001426	-0,00005233
29	19,64	-0,0001442	-0,00005462
30	29,64	-0,0001466	-0,00005835
31	39,64	-0,0001500	-0,00006333
32	49,64	-0,0001540	-0,00006929
33	59,64	-0,0001584	-0,00007593
34	69,64	-0,0001631	-0,00008292
35	79,64	-0,0001678	-0,00008993
36	89,64	-0,0001722	-0,00009664
37	99,64	-0,0001763	-0,00010280
38	109,60	-0,0001798	-0,00010820
39	119,60	-0,0001826	-0,00011260
40	129,60	-0,0001847	-0,00011610
41	139,60	-0,0001859	-0,00011860
42	149,60	-0,0001863	-0,00012010
43	159,60	-0,0001858	-0,00012060
44	169,60	-0,0001844	-0,00012020
45	179,60	-0,0001822	-0,00011890
46	189,60	-0,0001790	-0,00011650
47	199,60	-0,0001750	-0,00011310
48	209,60	-0,0001700	-0,00010850
49	219,60	-0,0001641	-0,00010290
50	229,60	-0,0001574	-0,00009615
51	239,60	-0,0001499	-0,00008840
52	249,60	-0,0001418	-0,00007980
53	259,60	-0,0001331	-0,00007057

Dari tabel 3 dapat dilihat nilai regangan normal arah horizontal maksimum pada kondisi *interface rough* yaitu sebesar $Y = -0,0001863$ yang berada pada koordinat $X = -150,40$ mm dan nilai minimum yaitu sebesar $Y = -0,0001421$ yang berada di poros antara ban kendaraan sehingga dapat diketahui rentang regangan normal pada kondisi *interface rough* adalah $0,0000442$, akan tetapi untuk kondisi *interface smooth* memiliki nilai maksimum

sebesar $Y = -0,00012070$ yang berada pada koordinat $X = 160,40$ mm dan nilai minimum sebesar $Y = -0,00005159$ yang berada di poros antara ban kendaraan sehingga dapat diketahui rentang regangan normal pada kondisi *interface smooth* adalah $0,00006911$.

Untuk lebih jelasnya perbedaan regangan normal arah horizontal $Z = 100$ mm pada kondisi *interface rough* dan *smooth* dapat dilihat pada gambar 4 dibawah ini:



Gambar 4 Respon regangan normal arah horizontal $Z = 100$ mm (*interface* antara *binder course* dan *unbound granular*)

Respon Regangan Normal Arah Vertikal $Z = 450$ mm (*Interface* Antara *Unbound Granular* dan *Sub Grade*)

Hasil analisis yang dikeluarkan oleh program CIRCLY 5.0 untuk respon regangan normal arah vertikal $Z = 450$ mm dapat dilihat pada tabel 4 sebagai berikut:

Tabel 4 Regangan normal arah vertikal Z = 450 mm dengan kondisi *interface rough* dan *smooth*

No	Coordinate X	Regangan normal arah vertikal Z = 450 mm	
		<i>Interface Rough</i>	<i>Interface Smooth</i>
1	-260,40	0,0003082	0,0003935
2	-250,40	0,0003137	0,0004019
3	-240,40	0,0003192	0,0004101
4	-230,40	0,0003244	0,0004179
5	-220,40	0,0003294	0,0004254
6	-210,40	0,0003343	0,0004326
7	-200,40	0,0003390	0,0004394
8	-190,40	0,0003434	0,0004459
9	-180,40	0,0003476	0,0004520
10	-170,40	0,0003516	0,0004576
11	-160,40	0,0003553	0,0004629
12	-150,40	0,0003588	0,0004677
13	-140,40	0,0003620	0,0004722
14	-130,40	0,0003650	0,0004762
15	-120,40	0,0003678	0,0004799
16	-110,40	0,0003703	0,0004832
17	-100,40	0,0003725	0,0004861
18	-90,36	0,0003746	0,0004887
19	-80,36	0,0003764	0,0004910
20	-70,36	0,0003780	0,0004929
21	-60,36	0,0003793	0,0004946
22	-50,36	0,0003805	0,0004960
23	-40,36	0,0003814	0,0004971
24	-30,36	0,0003821	0,0004979
25	-20,36	0,0003826	0,0004985
26	-10,36	0,0003829	0,0004989
27	-0,37	0,0003831	0,0004990
28	9,64	0,0003830	0,0004989
29	19,64	0,0003827	0,0004985
30	29,64	0,0003822	0,0004980
31	39,64	0,0003815	0,0004971
32	49,64	0,0003805	0,0004960
33	59,64	0,0003794	0,0004947
34	69,64	0,0003781	0,0004931
35	79,64	0,0003765	0,0004912
36	89,64	0,0003747	0,0004889
37	99,64	0,0003727	0,0004863
38	109,60	0,0003705	0,0004834
39	119,60	0,0003680	0,0004802
40	129,60	0,0003652	0,0004765
41	139,60	0,0003622	0,0004725

42	149,60	0,0003590	0,0004681
43	159,60	0,0003555	0,0004632
44	169,60	0,0003518	0,0004580
45	179,60	0,0003479	0,0004524
46	189,60	0,0003437	0,0004463
47	199,60	0,0003393	0,0004399
48	209,60	0,0003347	0,0004331
49	219,60	0,0003298	0,0004260
50	229,60	0,0003248	0,0004185
51	239,60	0,0003195	0,0004107
52	249,60	0,0003141	0,0004025
53	259,60	0,0003086	0,0003942

Dari tabel 4 dapat dilihat nilai regangan normal arah vertikal yang maksimum pada kondisi *interface rough* yaitu sebesar $Y = 0,0003831$ yang berada di poros antara ban kendaraan dan nilai minimum yaitu sebesar $Y = 0,0003082$ yang berada di tepi luar ban kendaraan sehingga dapat diketahui rentang regangan normal pada kondisi *interface rough* adalah $0,0000749$, akan tetapi untuk kondisi *interface smooth* memiliki nilai maksimum sebesar $Y = 0,0004990$ yang berada di poros antara ban kendaraan dan nilai minimum sebesar $Y = 0,0003935$ yang berada di tepi luar

ban kendaraan sehingga diketahui panjang antara nilai minimum sampai dengan nilai maksimum adalah sebesar $0,0001055$.

Analisis Pemodelan Modulus Elastisitas Pada Lapisan Aspal Tipis

Setelah memodelkan kondisi *interface* kedalam dua jenis yaitu kasar (*rough*) dan halus (*smooth*), selanjutnya memodelkan nilai modulus elastisitas pada lapisan aspal tipis untuk mengetahui kondisi *interface* sebagian. Adapun nilai pemodelan modulus elastisitas pada aspal tipis adalah sebagai berikut:

Tabel 5 Nilai pemodelan modulus elastisitas

Variasi	Modulus Elastisitas (MPa)
1	2
2	5
3	100
4	1600

Tabel 6 Nilai maksimum dan minimum pada respon *displacement* arah vertikal $Z = 0$

Variasi	Kondisi <i>Interface</i>	Modulus Elastisitas (MPa)	Maksimum (mm)	Minimum (mm)	Rentang (mm)
1	<i>Rough</i>	2000	-0,4592	-0,4386	0,0206
2	<i>Rough</i>	2	-0,5798	-0,5125	0,0670
3	<i>Rough</i>	5	-0,5267	-0,4736	0,0531
4	<i>Rough</i>	100	-0,4659	-0,4404	0,0255
5	<i>Rough</i>	1600	-0,4590	-0,4386	0,0201
6	<i>Smooth</i>	2000	-0,5504	-0,5150	0,0354

Dari tabel 6 dapat diketahui respon *displacement* arah vertikal untuk kondisi *interface* sebagian berada pada nilai modulus elastisitas 5 Mpa. Nilai maksimum yang didapat pada Modulus elastisitas 5 Mpa adalah $-0,5267$ mm dan nilai minimum $-0,4736$ mm sehingga rentang *displacement* arah vertikal yang terjadi adalah $0,0531$ mm. Penggunaan nilai Modulus elastisitas yang lebih kecil (2 Mpa) memperlihatkan kondisi *interface* yang mendekati halus dan memiliki rentang yang sangat besar, sedangkan penggunaan nilai modulus elastisitas yang lebih besar (1600

Mpa) memperlihatkan kondisi *interface* yang mendekati kasar dan memiliki rentang yang kecil.

Respon Regangan Normal Arah Horizontal pada $Z = 100$ Setelah Memodelkan Nilai Modulus Elastisitas Pada Lapisan Aspal Tipis

Nilai pada respon regangan normal arah horizontal $Z = 100$ setelah memodelkan nilai *modulus elastisitas* pada lapisan aspal tipis dapat dilihat pada tabel 8 dan gambar 7 di bawah ini:

Tabel 7 Nilai maksimum dan minimum pada respon regangan normal arah horizontal Z = 100

Variasi	Kondisi <i>Interface</i>	Modulus Elastisitas (MPa)	Maksimum	Minimum	Rentang
1	<i>Rough</i>	2000	-0,0001863	-0,00014213	0,00004417
2	<i>Rough</i>	2	-0,00009697	-0,00007338	0,00002359
3	<i>Rough</i>	5	-0,0001346	-0,00009721	0,00003739
4	<i>Rough</i>	100	-0,0001848	-0,0001374	0,00004740
5	<i>Rough</i>	1600	-0,0001863	-0,00014209	0,00004421
6	<i>Smooth</i>	2000	-0,0001207	-0,00005159	0,00006911

Dari tabel 7 dapat diketahui respon regangan normal arah horizontal untuk kondisi *interface* sebagian berada pada nilai modulus elastisitas 5 Mpa. Nilai maksimum yang didapat pada Modulus elastisitas 5 Mpa adalah -0,0001346 dan nilai minimum -0,00009721 sehingga rentang regangan normal arah horizontal yang terjadi adalah 0,00003739.

Penggunaan nilai Modulus elastisitas yang lebih kecil (2 Mpa) memperlihatkan kondisi *interface* yang mendekati halus dan memiliki rentang yang kecil, sedangkan penggunaan nilai modulus yang lebih besar (1600 Mpa) memperlihatkan kondisi *interface* yang mendekati kasar dan memiliki rentang yang besar.

Tabel 8 Nilai maksimum dan minimum pada respon regangan normal arah vertikal Z = 450

Variasi	Kondisi <i>Interface</i>	Modulus Elastisitas (MPa)	Maksimum	Minimum	Rentang
1	<i>Rough</i>	2000	0,00038305	0,00030817	0,00007488
2	<i>Rough</i>	2	0,0004520	0,0003556	0,0000964
3	<i>Rough</i>	5	0,0004325	0,0003423	0,0000902
4	<i>Rough</i>	100	0,0003882	0,0003120	0,0000762
5	<i>Rough</i>	1600	0,00038313	0,00030823	0,0000749
6	<i>Smooth</i>	2000	0,0004990	0,0003935	0,0001055

Dari tabel 8 dapat diketahui respon regangan normal arah vertikal untuk kondisi *interface* sebagian berada pada nilai modulus elastisitas 5 Mpa. Nilai maksimum yang didapat pada Modulus elastisitas 5 Mpa adalah 0,0004325 dan nilai minimumnya 0,0003423 sehingga rentang penurunan yang terjadi adalah 0,0000902. Penggunaan nilai Modulus

elastisitas yang lebih kecil (2 Mpa) memperlihatkan kondisi *interface* yang mendekati halus dan memiliki rentang yang besar, sedangkan penggunaan nilai modulus yang lebih besar (1600 Mpa) memperlihatkan kondisi *interface* yang mendekati kasar dan memiliki rentang yang kecil.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Ditinjau dari hasil analisis perkerasan jalan yang dilakukan dengan menggunakan program komputer CIRCLY untuk sistem lima lapisan dari pemodelan mutu bahan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Program CIRCLY dapat dipergunakan untuk mengevaluasi kondisi *interface* kasar sebagian dengan memodelkan lapis aspal tipis pada struktur perkerasan lentur.
- 2) Respon *displacement* dan regangan normal arah vertikal memperlihatkan apabila nilai modulus elastisitas semakin mengecil (2 MPa) maka rentang yang terjadi akan semakin besar dengan arah pembebanan yang berlawanan sedangkan respon regangan normal arah horizontal memperlihatkan apabila nilai modulus elastisitas semakin mengecil (2 MPa) maka rentang yang terjadi akan semakin kecil dan beban cenderung merata.

- 3) *Displacement* dan regangan normal pada kondisi *interface Rough* memiliki rentang nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan kondisi *interface Smooth*, yang artinya struktur dari kedua lapisan saling mengikat sehingga beban yang diterima dapat dipikul oleh kedua lapisan tersebut.
- 4) Dari hasil analisa respon *displacement* dan regangan menggunakan program CIRCLY didapat bahwa penggunaan aspal tipis dengan nilai modulus elastisitas 2 MPa sampai dengan 1600 MPa dapat memperlihatkan kondisi *interface* kasar sebagian.

Saran

Ditinjau dari hasil analisis dengan menggunakan program CIRCLY maka diperoleh beberapa saran sebagai berikut:

- 1) Perlu diadakan suatu studi lanjutan dengan menggunakan program CIRCLY untuk menganalisis struktur perkerasan lentur dengan arah pembeban horizontal.
- 2) Perlu diadakan penelitian yang sesungguhnya (studi kasus) sebagai input data yang akan dievaluasi oleh program CIRCLY.
- 3) Diperlukan pengembangan program CIRCLY untuk memodelkan kondisi *interface* kedalam tiga jenis yaitu kasar, halus dan kondisi *interface* yang berada di antaranya.

DAFTAR PUSTAKA

Sudarsono, DU., *Konstruksi Jalan Raya*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta, 1993.

Mincad System Pty, Ltd., *CIRCLY User Manual*, Australia, 2004.

Manto Guitom, Tiopan Hendry., *Analisis Perkerasan Lentur Untuk Kondisi Isotropik dan Anisotropik Menggunakan Program CIRCLY 4*, Tesis Bidang Khusus Rekayasa Transportasi Program Pascasarjana Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2002.

McElvaney, James., *Layered Elastic Analysis and the Structural Design of Flexible Pavement*, Seminar on Road Design and Evaluation Department of Civil and Structural Engineering University of Hong Kong, Hongkong, 1988.

Panitia DEP. PULP-UGM., *Istilah Teknik Sipil Inggris - Indonesia*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta, 1972.

Austrroads., *Pavement Design A Guide to the Structural Design of Road Pavements*, Austrroads, Sydney, 1992.